



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

UNICAMP

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**Modelagem matemática na estimativa da densidade de um
Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa, pelo índice de
cone.**

Por: MANFREDO LUIZ LINS E SILVA

Fevereiro/99.

**CAMPINAS
Estado de São Paulo
BRASIL**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**Modelagem matemática na estimativa da densidade de um
Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa, pelo índice de
cone.**

Por: MANFREDO LUIZ LINS E SILVA

Orientador: Prof. Dr. CLÁUDIO BIANOR SVERZUT

Co-orientador: Prof. Dr. LUIZ ANTONIO DANIEL

Tese apresentada à Comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, como cumprimento parcial dos requisitos necessários para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Máquinas Agrícolas.**

Campinas, Fevereiro de 1999.

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese à minha querida filha Marina, à minha esposa Rita e aos meus pais Oswaldo e Idaisa.

Peço desculpas pelas vezes em que não pude dar a vocês a atenção e o carinho devido; reconheço que as horas dedicadas à construção do equipamento, à realização do experimento, à análise dos dados e à redação da tese foram longas e exaustivas para todos.

Mas ao fim deste árduo capítulo da minha vida quero lhes dizer que vocês são os amores e as razões da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Cláudio Bianor Sverzut, pelo incentivo, orientação técnica, empenho pessoal e sobretudo amizade.

Ao Professor Dr. Luiz Antonio Daniel, pelo apoio para a realização deste trabalho, orientação técnica, e amizade.

Ao comitê de orientação, Professor Dr. Carlos Roberto Espíndola e Professor Dr. David de Carvalho, pelo apoio técnico, colaboração e amizade.

Aos Diretores da Escola Agrotécnica Federal de Cáceres (EAFC), Professor Olegário Baldo e Professor José Carlos Chabel, que prontamente deram apoio logístico para a realização do experimento na EAFC.

Aos colegas de doutorado e amigos, João Carlos de Souza Maia e Walter Luiz Castro Mewes pelo auxílio técnico e empenho pessoal.

À amiga e Secretária da Pós-graduação da FEAGRI, Ana Paula Montagner, pelo apoio e amizade.

Aos funcionários do Laboratório de Protótipos, José Maria da Silva, Francisco F. dos Santos Filho, Luiz Carlos dos Santos Silva e Roberto

Carlos de Souza, pelas idéias, apoio, espírito de equipe e dedicação exemplar no trabalho de construção do PHE (Penetrômetro Hidráulico e Eletrônico). A participação de vocês foi fundamental, para que o nível de qualidade desejado fosse atingido. Com certeza, este trabalho não teria o mesmo êxito sem a participação de vocês.

Aos Professores e funcionários da EAFC, que, direta ou indiretamente, colaboraram, em especial ao Dr. Paulino da Cunha Leite, Ralpho Faria Braga Júnior, André Luís Campos, Aurélio Alves da Silva, Júlio César Alves e Cesário Neves da Silva, pela colaboração e amizade demonstrada.

À funcionária Célia Panzarin Gonçalves, funcionária do Laboratório de Solos da FEAGRI, pela determinação da granulometria do solo e a pesquisadora Dra. Sônia Carmela Falci Dechen, do Instituto Agrônomo de Campinas, pelas determinações em laboratório da capacidade de campo, ponto de murcha permanente e análises de macro e micro porosidade do solo utilizado.

À Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas pelos apoios técnico, material e financeiro.

À CAPES, pela bolsa de doutorado concedida.

À Escola Agrotécnica Federal de Cáceres, pelo apoio irrestrito em equipamentos, estrutura e pessoal técnico, viabilizando, de forma singular, a implantação e a realização do experimento.

À Tornearia do Gaúcho em Cáceres - MT, pela colaboração nos ajustes necessários para o início do experimento.

À Sementes Maggi LTDA., que colocou toda a sua estrutura de campo a disposição para a coletas do solo utilizado no experimento.

À Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato Grosso, que se disponibilizou em cooperar com a realização deste trabalho.

À todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram com este trabalho, deixo aqui meus agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
SUMÁRIO	vi
RESUMO	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo geral	4
2.2. Objetivos específicos	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1. Utilizações do índice de cone	6
3.2 Tipos de penetrômetros e penetrógrafos	10
3.3. Limitações do uso do índice de cone	16
3.4. Interações das propriedades do solo com a compactação e a resistência à penetração	19
3.5. Modelos, representações, desenhos, imagens e comportamento do solo durante a penetração de corpos circulares	30
3.6. Modelos matemáticos para o diagnóstico da compactação	42
4. MATERIAL E MÉTODOS	51

4.1. Material	51
4.1.1. Local do experimento	51
4.1.2. Solo	51
4.1.3. Equipamentos e utensílios utilizados para manuseio e acondicionamento do solo em laboratório	52
4.1.4. Equipamento utilizado para pesagem e determinação da umidade do solo	53
4.1.5. Equipamento para o ensaio de compactação	53
4.1.6. Material utilizado para a determinação de macro e micro porosidade	54
4.1.7. Penetrômetro	54
4.1.8. Chassi do penetrômetro	57
4.1.9. Sistema hidráulico	57
4.1.10. Haste e cone de aço inoxidável	57
4.1.11. Célula de carga	58
4.1.12. Sensor resistivo de deslocamento	59
4.1.13. Sistema de aquisição de dados	59
4.1.14. Programa gerenciador da aquisição de dados	59
4.1.15. Micro computador portátil	60
4.1.16. Bateria automotiva de 12V	60
4.2. Métodos	60
4.2.1. Armazenamento do solo em laboratório	60
4.2.2. Umidificação do solo para preparação de amostras	61
4.2.3. Construção do gráfico da densidade x umidade do solo em função de diversas curvas de energia de compactação	61
4.2.4. Análises de micro e macro porosidade	62
4.2.5. Preparação das unidades experimentais	63
4.2.6. Determinação da resistência do solo à penetração	63
4.2.7. Determinação da umidade do solo	64
4.2.8. Determinação da densidade do solo na amostra compactada	64
4.2.9. Descrição dos tratamentos experimentais	64
4.2.10. Nomenclatura utilizada na combinação dos tratamentos do solo, do cone e profundidade de análise	65
4.2.11. Modelos matemáticos	65
4.2.12. Análise estatística	68
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
5.1. Comportamento da compactação do solo submetido à diferentes umidades e energias de compactação	69
5.2. Análise da porosidade do solo	70
5.3. Particularidades da resistência do solo à penetração	74
5.4. Variação do I.C. com o aumento da velocidade	77

5.5. Relações entre a densidade e a umidade do solo com o I.C.	78
5.6. Modelos matemáticos para a compactação do solo	80
5.7. Análise estatística da validação dos modelos matemáticos que relacionam I.C., umidade e densidade do solo	80
5.8. Modelos matemáticos, simplificados, para a compactação do solo	88
6. CONCLUSÕES	90
7. ANEXOS	93
Anexo I	93
Anexo II	95
Anexo III	97
Anexo IV	102
Anexo V	103
Anexo VI	123
Anexo VII	127
Anexo VIII	131
Anexo IX	139
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155
9. ABSTRACT	161

RESUMO

Foram estudadas, em vinte tratamentos de solo (4 níveis de umidade do solo e 5 níveis de energia de compactação), as relações entre resistência à penetração, velocidade de penetração do cone, macroporosidade, microporosidade e volume total de poros com a compactação de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilo arenosa da região de Cerrados do Estado de Mato Grosso.

O experimento foi realizado em condições de laboratório, com energia de compactação e umidade do solo controladas. As amostras foram compactadas em cilindros metálicos, de forma a caracterizar a existência de 20 tratamentos de solo. As amostras, depois de preparadas, foram penetradas em 7 velocidades, por um cone do tipo “B” (ASAE R313.1 de 1978), utilizando um penetrômetro hidráulico com controle de velocidade e aquisição eletrônica e automática dos dados, especialmente construído e desenvolvido para pesquisas com índice de cone em condições de campo e laboratório.

Novas relações entre o índice de cone (I.C.) e a densidade do solo foram encontradas, permitindo, a partir de modelos matemáticos significativos, estimar a densidade do solo com a utilização dos valores de umidade e resistência do solo à penetração. Os modelos obtidos para estimar a densidade do solo possuem coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,79 a 0,96; os modelos obtidos nas velocidades de 5 e 100 mm/s foram os que apresentaram maior significância bilateral no teste “t”, com amostras emparelhadas, utilizado para testar a validade dos modelos.

1. INTRODUÇÃO

A compactação de solos agrícolas constitui, nos dias atuais, um dos maiores problemas e desafios à prática conservacionista de manejo de solos. Devido a isto, o dilema de produzir intensivamente sem provocar compactação ou danos à estrutura do solo tem sido o tema central de várias discussões.

A fronteira agrícola brasileira tem sido expandida continuamente. Com a incorporação destas novas áreas à produção agropecuária, têm aumentado os problemas ambientais, tais como a degradação dos solos, assoreamento de rios e de todo o ecossistema, de forma geral.

O aumento da produtividade e da área plantada no País têm sido conseguidas com a utilização de tratores, colhedoras e implementos agrícolas cada vez maiores, mais potentes e mais pesados. Com a aplicação inadequada (no preparo de solo convencional) destas novas máquinas, tem se contribuído para aumentar os danos e causar o empobrecimento dos solos cultivados. A utilização de novas tecnologias que visam intensificar as atividades agrícolas tornou-se imprescindível aos objetivos nacionais de aumentar a produção, baratear o custo dos alimentos e proporcionar ganhos sustentáveis aos produtores

rurais. Desta forma, a incorporação de novas áreas, a intensificação das atividades agropecuárias e, principalmente, a utilização de máquinas maiores e mais potentes são elementos com os quais a agricultura vem convivendo, cabendo à pesquisa desenvolver e encontrar soluções apropriadas aos problemas decorrentes destes fatos.

A existência de uma camada compactada, a compreensão do processo de compactação dos solos e a localização de camadas compactadas no perfil do solo são fundamentais para o planejamento da mecanização, sendo ponto determinante na escolha do manejo que economicamente melhor conserve o solo e proporcione produtividade economicamente aceitável. O índice de cone (I.C.) é uma ferramenta de grande utilidade na caracterização indireta do estado de compactação dos solos, desde que utilizado com critério (LINS E SILVA (1994)). O mau uso do I.C. pode levar a conclusões errôneas e colocar em dúvida a validade de muitos trabalhos acadêmicos e científicos disponíveis na literatura.

Modelos matemáticos vêm sendo propostos para quantificar, descrever e qualificar o comportamento de compactação dos solos; no entanto estes modelos utilizam variáveis independentes, de difícil obtenção ou elaboradas a partir de complicadas metodologias laboratoriais. No Brasil, estes modelos são poucos; usualmente utiliza-se o ensaio de compactação de Proctor para a obtenção de alguns parâmetros para a comparação com a compactação causada por tratores e implementos agrícolas.

Após vários anos de desenvolvimento de penetrômetros eletrônicos, nos países de clima temperado, só recentemente este equipamento tem

apresentado algumas evoluções no Brasil, limitadas ao desenvolvimento de equipamentos portáteis com aquisições eletrônicas de dados (equipamentos apresentados por BALASTREIRE e AMARAL (1994), CAPELLI et al (1995) e MOREIRA et al (1995)). Os modelos de aquisição eletrônica com acionamento hidráulico e controle de velocidade de penetração foram desenvolvidos por LINS E SILVA et al (1995 e 1998) e LANÇAS e SANTOS (1998). Apesar do desenvolvimento destes equipamentos, o princípio de utilização dos mesmos continua igual ao de quando foram desenvolvidos, em 1948, na Estação Experimental de Waterways, do Exército do Estados Unidos da América, posteriormente padronizado pela Sociedade Americana de Engenharia Agrícola (ASAE).

Este trabalho propõe uma nova abordagem sobre a utilização do índice de cone, permitindo que, em laboratório, sejam conhecidas as principais características do comportamento de compactação do solo estudado e as relações com o I.C.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Aplicar o penetrômetro hidráulico desenvolvido por LINS E SILVA et al (1998), de modo a se obterem dados de resistência de um solo à penetração mais precisos. Correlacionar a resistência à penetração de cone (padronizado pela ASAE) com a compactação, feita em laboratório com energia de compactação e umidade do solo controladas, de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilo-arenosa.

2.2. Objetivos específicos

Obter o índice de cone em diferentes velocidades de penetração do cone em amostra de solo compactado com diferentes energias de compactação, a diferentes teores de umidade.

Conhecer em função do estado de compactação do solo, para controle do experimento, o comportamento da microporosidade, da macroporosidade e da porosidade total da amostra de solo estudada.

Avaliar a influência da variação da velocidade de penetração do cone nos resultados de I.C., propondo modelos matemáticos para estimarem a densidade do solo utilizando como variáveis independentes a umidade do solo e o I.C.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Utilizações do índice de cone.

A ASAE (1978) padronizou medidas dos penetrômetros para a obtenção do índice de cone do solo. A pressão requerida para mover um cone circular com ângulo sólido de 30° através do solo é comumente referido como Índice de Cone (I.C.). Atender aos seguintes propósitos foram os objetivos daquela padronização:

- Promover um método comum, para expressar as propriedades mecânicas do solo e facilitar as interpretações e comparações entre os trabalhos produzidos nos diferentes centros de pesquisas;
- Atender a necessidade de comparações das propriedades dos solos, em trabalhos que utilizam diversos tipos e condições de solos; e,
- Promover um sistema de caracterização de propriedades do solo, no qual pode ser possível estabelecer relações de desempenho e predição de modelos.

A ASAE adverte que as recomendações servem somente como um meio de se medir, descrever e reportar a resistência do solo à penetração, não

provendo valores específicos de coesão, ângulo de atrito do solo ou coeficiente de atrito solo - metal.

O trabalho de Taylor et al em 1966, apud McKYES (1985), é citado para ilustrar a correlação entre reduções drásticas da penetração de raízes da planta de algodão e o índice de cone. Quatro tipos de solos foram compactados em camadas; os valores dos índices de cone acima de 2 MPa (aproximadamente 20 kgf/cm², que caracterizaram estas camadas compactadas) mostraram-se limitantes ao desenvolvimento do sistema radicular do algodoeiro.

GILL e VANDENBERG (1967) comentam o programa de utilização do penetrômetro desenvolvido pelo corpo de engenheiros da estação experimental de Walterways do Exército dos E.U.A., que utilizava um cone de 30° com 0,5 pol² de secção (na parte mais larga do cone). O valor do índice de cone era lido diretamente em um dinamômetro acoplado à haste do penetrômetro. O sistema foi utilizado para prever a condição de tráfego do solo à passagem de 50 veículos. A metodologia consistia em coletar uma amostra não deformada à profundidade de 12 polegadas, determinar seu I.C. e, em seguida, remodelando-a com 100 golpes de um martelo, simulando o efeito da passagem de 50 veículos. Nesta nova condição era determinado um novo I.C., chamado remodelado. O produto dos índices de cone (antes e depois de remodelada a amostra) era denominado como I.C. padrão, o qual era comparado com o padrão de índice de cone que um determinado veículo produzia com 50 passadas no solo. Qualquer solo que

possuísse um padrão igual ou maior do que o proporcionado por 50 passadas de um veículo qualquer, permitiria tráfego para os veículos em questão.

KOOLEN e KUIPERS (1983) listaram as seguintes utilizações para o I.C.:

- Avaliação da capacidade de desenvolvimento das raízes das plantas, onde um I.C. de aproximadamente ou maior que 30 bar ($30,6 \text{ kgf/cm}^2$) impossibilita o desenvolvimento de raízes das plantas, tornando-as mais sensíveis a períodos secos do ano;
- Avaliação da possibilidade de trânsito de animais em pastagens, sendo que solos que possuem I.C. superior a 7 bar ($7,14 \text{ kgf/cm}^2$) permitem o trânsito de animais sem risco de atolamento destes; e,
- O I.C. também pode ser utilizado para testar a uniformidade da área escolhida para experimentos agrícolas, sendo muito utilizado na aferição da uniformidade do solo em experimentos conduzidos em caixas de solos e laboratórios.

KOOLEN e KUIPERS (1983), no tópico em que tratava de desempenho de pneus relacionado com I.C., estabeleceram formas para prever certos aspectos de desempenho do pneu com I.C., principalmente pela facilidade em se medi-lo. No entanto, existem alguns aspectos a serem estudados, como, por exemplo, as modificações das propriedades do solo com a passagem dos pneus dos veículos. Por causa disto, muitas vezes o escopo de utilização dos modelos com I.C. são restritos a solos compactados. Uma forma de se atenuar

este problema e validar os modelos obtidos, mesmo quando há variação das propriedades dos solos, é a utilização do I.C. padrão originalmente utilizado em Waterways em 1948, apud KOOLEN e KUIPERS (1983). As aplicações mais grosseiras para quantificar o desempenho dos pneus determinam o critério de capacidade de tráfego, com um veículo em uma determinada condição do solo. Os modelos empíricos mais complexos, que normalmente são descritos pelas fórmulas, levam em consideração outros aspectos, como tamanho dos pneus, cargas verticais aplicadas e pressão de insuflagem.

PERUMPRAL (1987) relata que os penetrômetros vêm sendo utilizados em grande escala em diversas aplicações, cuja popularidade pode ser atribuída às seguintes razões: a) Utilização fácil, rápida e barata; b) Fácil análise dos dados obtidos; e, c) Constitui uma excelente ferramenta de pesquisa quando é impossível a obtenção de amostras indeformadas do solo. As principais utilizações são a obtenção da dureza do solo, determinação da condição de tráfego de terrenos, resistência à penetração de raízes e seu desenvolvimento e determinação de camadas compactadas. Segundo o autor, devido aos problemas estudados e às variações de condições do solo, a engenharia está desenvolvendo uma grande variedade de equipamentos e procedimentos de trabalho.

OHMIYA et al (1993) desenvolveram um sistema para mapear a resistência do cone e a sua distribuição espacial nas três dimensões (nas coordenadas x, y e z) do solo. Os dados foram coletados no campo, compondo

uma malha com distância de amostragem de 1,5 x 2 m, a uma profundidade de até 0,6 m. O “software” utilizado para compor o sistema de coordenadas permite realizar análises em duas e três dimensões, facilitando o estudo da compactação do solo em condições de campo.

DANIEL et al (1995) avaliaram as camadas compactadas do solo, espacial e ponderal, com o auxílio de um penetrógrafo de molas com haste e cone “B” (ASAE S313.1). Estas camadas foram provocadas por sistemas de preparo de solo considerados tradicionais, convencionais e conservacionistas, utilizados durante cinco anos agrícolas. Os autores obtiveram bons resultados com a metodologia empregada, e as análises comparativas dos tratamentos com o auxílio do I.C. e de umidade mostraram-se eficientes. BALBUENA et al (1995) realizaram estudos com metodologia semelhantes na Argentina, para comparar o efeito de diferentes preparos de solos, tendo também utilizado o I.C. na caracterização comparativa dos resultados.

3.2 Tipos de penetrômetros e penetrógrafos.

GILL e VANDENBERG (1967) e PERUMPRAL (1987) descrevem o penetrômetro desenvolvido pela Estação Experimental de Waterways em 1948,, que utiliza um cone circular de 30° com uma área da base de 1,61 cm² (0,5 pol.²), montado em uma haste graduada de 91,4 cm de comprimento (36 pol.) e diâmetro de 0,95 cm (0,38 pol.). O equipamento desenvolvido é portátil e o esforço para

penetrar o cone no solo é medido por uma mola calibrada, cuja deformação aciona um ponteiro em um visor, indicando a força por unidade de área. A leitura deve ser feita a cada instante, observando a profundidade do cone na graduação da haste.

CARTER (1967) e HENDRICK (1969) desenvolveram e apresentaram dois penetrógrafos bastante semelhantes, que consistia de uma haste com cone na sua extremidade, acoplada a uma mola previamente calibrada. A força necessária para deslocar o cone no solo produzia uma deformação proporcional na mola; um sistema mecânico de posicionamento, por intermédio de uma caneta, registrava em um gráfico o deslocamento da mola e a respectiva profundidade do cone, gerando um gráfico com o índice de cone do solo em função da profundidade. Os referidos pesquisadores, na época, salientavam a importância de se obter um registro gráfico deste tipo de dados, reduzindo erros de leitura e exigindo menos homem - hora de trabalho no campo.

PRATHER et al (1970) projetaram e desenvolveram um penetrógrafo, com as seguintes características:

- força máxima de 200 lbf (90,7 kgf), em faixas de 0 a 50 lbf, 0 a 100 lbf e 0 a 200 lbf;
- profundidade máxima de penetração de 24 pol. (60,96 cm);
- uso de cone de 30° com área da base de 0,2 pol².
- peso máximo do equipamento de 10 lb (4,54 kg);
- registrador X - Y com área útil de desenho de 4 x 6 polegadas; e,

- precisão de $\pm 2\%$ do fundo de escala de cada faixa. Na construção do equipamento foi utilizada uma célula de carga e um potenciômetro de precisão de múltiplas voltas, como transdutores de força e posição, respectivamente. Os autores concluíram que todos os objetivos do projeto foram cumpridos, sendo o penetrógrafo muito simples de ser operado por uma única pessoa.

WILLIFORD et al (1972) construíram um penetrógrafo para utilização no campo, montado em um trator. O sistema possuía um estrutura que permitia obter os dados em uma largura de trabalho de até 40 pol. (101,6 cm); os dados de força eram medidos por uma célula de carga e a profundidade do cone obtida a partir de um potenciômetro de precisão de multi - voltas; os sinais analógicos provenientes dos transdutores de força e posição eram grafados em um registrador X-Y. O cone era impulsionado para dentro do solo, com o auxílio de um cilindro hidráulico com curso de 24 pol. (60,96 cm). Após dois anos de uso do equipamento os autores não encontraram qualquer tipo de problema mecânico ou operacional no penetrógrafo, concluindo que com o equipamento desenvolvido o tempo de aquisição de dados de I.C. é de 25% do utilizado por penetrógrafos manuais, o que se deve à facilidade e à simplicidade operacional obtidas nos trabalhos de campo, utilizando-se o penetrógrafo hidráulico.

A AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE (1978), mediante a recomendação ASAE R313.1, padronizou o uso do penetrômetro para fins agrícolas com as seguintes dimensões:

- a) cone circular com ângulo sólido de 30° , área da secção da base de $0,5 \text{ pol}^2$ ou $0,798 \text{ pol}$ de diâmetro ($3,2 \text{ cm}^2$ ou $20,27 \text{ mm}$ de diâmetro), haste de penetração com diâmetro de $0,625 \text{ pol}$ ($15,9 \text{ mm}$), recomendado para uso em solos soltos; e,
- b) cone circular com ângulo de 30° , área da secção da base de $0,2 \text{ pol}^2$ ou $0,505 \text{ pol}$ de diâmetro ($1,3 \text{ cm}^2$ ou $12,83 \text{ mm}$ de diâmetro), haste de penetração com diâmetro de $0,375 \text{ pol}$ ($9,5 \text{ mm}$), recomendado para uso em solos firmes.

Para construção dos dois tamanhos de cone deve ser utilizado aço inoxidável com rugosidade máxima de 63 micro polegadas. As capacidades de operação dos cones “a” e “b” são de aproximadamente 300 psi (21 kgf/cm^2) e 750 psi (53 kgf/cm^2), respectivamente, bastante razoável para a maioria das condições dos solos agrícolas. Os cones devem penetrar no solo a uma velocidade constante de 72 pol/min (1829 mm/min); em solos muito duros esta velocidade pode ser inviável, e, neste caso, velocidades um pouco menores não resultam em erros significativos. Os cones devem ser substituídos quando houver um desgaste destes superior a 3% do diâmetro da base, pois isto implica variações de até 5% nos resultados medidos.

SMITH e DUMAS (1978) desenvolveram um penetrógrafo elétrico, utilizado para medir a resistência do solo à penetração; o chassi do equipamento permitia deslocamentos laterais em uma largura de até 3 m e a obtenção do I.C. até uma profundidade máxima de 0,80 m. O registro dos dados de força por

profundidade foram feitos em um registrador X-Y. A força era medida por uma célula de carga e a profundidade dada por um potenciômetro de precisão de múltiplas voltas; o cone utilizado era de 30°. O equipamento foi construído obedecendo as recomendações de construção e operação da ASAE; a capacidade de medidas variava de 0 a 14 MPa (142,8 kgf/cm²) e a estrutura do penetrógrafo foi projetada para ser acoplada e transportada no sistema de engate de 3 pontos dos tratores agrícolas. Um motor elétrico de 250 W, com um sistema de redução, foi utilizado para penetrar o cone no solo.

BENGOUGH et al (1991) estudaram um penetrógrafo rotativo, para ser operado a uma rotação do cone de até 8,6 rotações por minuto, a uma velocidade de penetração de 4 mm/min. Os cones utilizados possuíam ângulos de 10° e 60°.

BALASTREIRE e AMARAL (1994) construíram um penetrógrafo eletrônico portátil, com as suas funções controladas por um microprocessador Z80, com o sistema controlando as leituras dos sensores de força e profundidade. Os dados são armazenados até um total de 99 curvas com 200 pontos cada, e posteriormente estes dados são transferidos para um microcomputador, onde são processados e analisados. A análise e discussão dos resultados obtidos levaram os autores às seguintes conclusões a respeito do sistema:

- possibilita grande economia de tempo no processamento das informações;

- elimina a possibilidade de erros no momento da leitura das informações, por intermédio do processo visual (normalmente utilizado nos penetrômetros convencionais);
- proporciona ao usuário possibilidade de reestruturar os resultados finais em função dos seus objetivos, uma vez que os dados originais não são alterados;
- atende plenamente aos requisitos inicialmente preestabelecidos; e,
- representa uma grande evolução tecnológica em relação aos métodos de determinação do índice de cone utilizados, até então, no Brasil.

CAPPELLI et al (1995) desenvolveram um penetrômetro eletrônico portátil, utilizando sensores de força e de posição, que permite a obtenção do índice de cone a cada centímetro de profundidade. Os sinais analógicos correspondentes à força e posição são eletronicamente processados e armazenados. O sistema de aquisição de dados é formado por um módulo composto por: condicionadores de sinais; conversor A/D; memórias RAM e EPROM; interface serial e por um palm-top HP-95 LX. Os autores concluíram que o equipamento é de fácil utilização e permite uma total flexibilidade no tratamento dos dados em planilhas de cálculo.

MOREIRA et al (1995) construíram um penetrômetro portátil em que os sinais provenientes do transdutor de força e do transdutor de posição são gravados em um “data logger”. Segundo os autores, o equipamento construído conseguiu satisfazer as expectativas de projeto, pois possui um baixo custo, utiliza

materiais de fácil aquisição e apresenta uma boa precisão para a obtenção do índice de cone.

LINS E SILVA et al (1995), seguindo as recomendações dimensionais para a construção e utilização de penetrômetros e penetrógrafos da ASAE (ASAE R313.1), desenvolveram um penetrógrafo hidráulico com aquisição eletrônica de dados. O equipamento é montado no engate de três pontos, categoria dois dos tratores agrícolas, e é acionado hidráulicamente para a penetração do cone no solo. Os sinais analógicos dos transdutores de força e posição são condicionados, transformados em digitais e gravados em um “data logger”. O equipamento permite regular e ser operado a uma velocidade constante na penetração do cone no solo, eliminando os erros provenientes da variação de velocidade durante a amostragem, fato comum nos penetrógrafos manuais, que não possuem controle da velocidade. Os autores concluíram que o equipamento é de fácil utilização no campo e possui um eficiente controle de velocidade de penetração.

3.3. Limitações do uso do índice de cone.

Segundo KOOLEN e KUIPERS (1983) e PERUMPRAL (1987), a força vertical necessária para mover um cone no solo, em regime não transiente, depende da área da base do cone, ângulo do cone, ângulo de atrito solo - cone, propriedades do solo e velocidade de penetração. A força vertical de penetração é

proporcional à área da base do cone, e por esta razão a resistência à penetração do cone é usualmente expressa como a razão da força vertical pela área da base do cone, comumente chamada de índice de cone. O I.C. é insensível a pequenas variações das dimensões do cone, exceto quando a área da base varia em uma faixa muito grande.

KOOLEN e KUIPERS (1983), quando tratam das determinações rápidas das propriedades físicas e mecânicas do solos, dizem que com penetrômetros as medidas são feitas rapidamente, sendo esta a vantagem sobre outros métodos para a determinação das propriedades do solo. Em certos casos o penetrômetro vem sendo usado com sucesso para estimar a coesão, ângulo de atrito interno do solo, porosidade, densidade do solo, umidade ou tensão de retenção de água no solo. O I.C. pode ser expresso como uma função da coesão e do ângulo de atrito interno do solo. No entanto o grau de determinação desta função é bastante baixo (se o seu domínio de aplicação for grande o suficiente para cobrir todos os tipos de solos e suas condições). O I.C. deve ser reescrito como função das propriedades físicas do solo como umidade, porosidade e tipo de solo, sendo o efeito da estrutura do solo confundido com os efeitos da umidade e porosidade do solo, podendo desta forma ser omitido sem causar diferenças significativas no I.C. É correto expressar o I.C., somente, em função da umidade e porosidade do solo, obtendo-se uma função com alto grau de determinação. O I.C. também pode ser expresso como função exclusiva da umidade ou da densidade

do solo; no primeiro caso a densidade do solo deve ser constante e no segundo a umidade deve ser constante.

McKYES (1985) faz algumas afirmações a respeito de variações de propriedades do solo com a compactação. Conforme o autor, a coesão do solo aumenta de forma logarítmica com a densidade do solo, enquanto que o ângulo de atrito interno aumenta linearmente. O autor afirma que a resistência do solo à penetração, medida por um penetrômetro com cone, não depende exclusivamente da densidade do solo, pois a umidade deste tem efeitos significativos nos resultados.

Segundo MANTOVANI (1987), a resistência do solo à penetração é um indicador secundário de compactação, não sendo medição física direta de qualquer condição do solo. É afetada por muitos outros fatores além da compactação do solo, dos quais o mais importante é o teor de umidade. A resistência do solo à penetração é altamente afetada pela textura do solo, sendo a utilidade de suas medidas somente comparadas se feitas no mesmo solo e no mesmo teor de umidade. A resistência do solo à penetração pode ser medida facilmente em várias profundidades, mas, se as medidas forem comparadas, o teor de umidade terá que ser o mesmo em todos os níveis.

McKYES (1989) diz que, infelizmente, as informações levantadas por intermédio de um penetrômetro não relatam as propriedades do solo da lei de

Coulomb, ou seja, os parâmetros de resistência do solo “C” e ϕ (coesão e ângulo de atrito interno do solo, respectivamente). O fator medido pelo penetrômetro é simplesmente a força requerida para mover a haste e o cone do penetrômetro em uma velocidade constante em uma profundidade particular do solo. Apesar do I.C. não ser uma boa estimativa das propriedades coesivas e friccionais do solo, ele é muito utilizado para caracterizar a resistência do solo, densidade, resistência à penetração de raízes, condição de tráfego de veículos e outras aplicações. O autor cita que a utilização do I.C. requer testes e calibrações em relação à aplicação desejada.

LINS E SILVA (1994), estudando as interações entre o I.C., teor de água no solo e densidade do solo, em condições de campo e com auxílio de um penetrógrafo hidráulico e eletrônico, constatou uma interação altamente significativa dos fatores estudados, concluindo que é necessário muito critério na utilização do I.C. para analisar a resistência à compressão do solo e a sua correlação com a compactação (prejudicial ao desenvolvimento radicular das plantas).

3.4. Interações das propriedades do solo com a compactação e a resistência à penetração.

RAGHAVAN et al (1977 e 1978) relacionaram, em testes de campo e de laboratório, o cisalhamento do solo e a umidade com a compactação, tendo

constatado que o nível de compactação aumenta consideravelmente com o aumento do cisalhamento, nas mesmas condições de umidade, densidade e energia de compactação aplicada ao solo. O máximo de compactação para as mesmas condições do solo ocorre quando o deslizamento das rodas dos veículos agrícolas está entre 25 e 35 %. McKYES (1985) recomenda que as operações agrícolas devam ser realizadas no máximo com 16% de deslizamento de pneus, para que seja evitado um aumento na compactação do solo.

VARGAS (1977) cita o enunciado que Ralph Proctor publicou em 1933: "A densidade com que um solo é compactado, sob determinada energia de compactação, depende da umidade do solo no momento da compactação". Atualmente, para a determinação experimental da correlação entre a densidade do solo, a umidade e a energia utilizada para a compactação, usa-se o ensaio de Proctor Normal ou o Modificado. O primeiro consiste em compactar, em um cilindro metálico de 944 cm³ de volume três camadas de solo, cada camada com 25 golpes de um peso de 24,5N, caindo de uma altura de 30,5 cm. O Proctor Modificado difere no número de camadas de solo, peso do soquete e altura de queda livre, que passam a ser respectivamente 5 camadas, 44,5 N de peso e 46 cm de altura. No ensaio Normal de Proctor o solo é compactado sob uma energia por unidade de volume de 60,54 tf·m/m³ (593,7 kJ/m³), equivalente a passar um pé-de-carneiro leve (peso máximo de 7 tf) por 12 vezes. Já no Proctor modificado, a energia é de 276,40 tf·m/m³ (2710,54 kJ/m³), correspondente a passar 12 vezes um pé-de-carneiro pesado (peso superior a 15 tf).

RAGHAVAN e OHU (1985) postularam que o teste de Proctor Normal é um excelente guia para indicar a umidade na qual a ocorrência da compactação é máxima. Para transportar os resultados dos testes de compactação, realizados em laboratórios, para as condições de campo é necessário considerar os seguintes fatores:

- concordância entre a umidade natural do solo, encontrada em condição de campo, com a umidade ótima para compactação determinada em laboratório; e,
- adequação do equipamento para realizar a compactação, com o tipo de solo encontrado.

Normalmente é impossível trabalhar no campo com a umidade ideal, para se realizar a compactação. Em geral, trabalha-se em uma condição natural de umidade do solo próxima à desejada. A energia de compactação (impacto) dos testes de laboratórios é dada por:

$$E_c = M \cdot g \cdot h \cdot L \cdot N / V$$

onde:

E_c - energia/volume [J/m^3];

M - massa do martelo [kg];

g - aceleração da gravidade [$9,81 \text{ m/s}^2$];

h - altura de queda do martelo [m];

L - número de camadas de compactação;

N - número de golpes de martelo/camada de compactação;

V - volume do molde de compactação;

McKYES (1985) define compactação como um aumento da densidade do solo, a partir de um rearranjo da disposição das partículas sólidas do solo, implicando redução da porosidade. A compactação pode ter duas causas:

- a) naturais, devidas ao impacto das gotas de chuva, umidificação-secagem e tensão interna da água; e,
- b) artificiais, devidas às forças aplicadas ao solo por máquinas agrícolas.

Geralmente estas forças são de curta duração, pois os veículos agrícolas sempre estão em movimento. A análise da compactação causada por pneus, rodas e ferramentas não é simples, pois a distribuição das tensões normais e de cisalhamento ocorre de forma não uniforme.

MANTOVANI (1987) definiu que um solo está agronomicamente compactado quando a proporção do volume total de poros para o volume do solo é inadequado ao máximo desenvolvimento de uma cultura ou manejo eficiente do campo. A compactação do solo pode ser avaliada em relação à porosidade, à densidade do solo e à resistência à penetração. O melhor método direto para se determinar a compactação do solo é o da densidade do solo (relação entre o peso do solo seco a 105 - 110 °C até peso constante e o volume total deste), expressa em g/cm³. Segundo o autor, a porosidade é o termo de maior significado para se usar na discussão de compactação do solo, pois esta nos fornece uma descrição

direta da proporção de volume do solo disponível para a água e ar necessários às raízes das plantas. Pela Fig. 1 o autor demonstra que a umidade do solo tem grande influência no processo de compactação do solo. Verifica-se que cada curva, correspondente a uma energia de compactação, mostra uma umidade ótima correspondente à obtenção da máxima densidade do solo. O fator peso de equipamento é muito importante no processo de compactação, visto que quanto maior for a energia de compactação, menor é a quantidade de água no solo necessária para a obtenção do ponto máximo de compactação. Solos com pequena variação do tamanho das partículas constituintes são menos susceptíveis ao processo de compactação, quando comparados àqueles onde há uma grande variação dos tamanhos das partículas. Isto se deve ao fato de as partículas de tamanhos diferentes, quando submetidas a uma pressão, se rearranjarem e preencherem os poros do solo.

Segundo BALASTREIRE (1987), o solo exibe resistência à compressão volumétrica e à deformação linear de corpos estruturais. Em ambos os casos, a resistência de um determinado solo à penetração, a um dado teor de umidade, geralmente cresce com o aumento da compactação ou da sua densidade. O fator principal que afeta as relações específicas entre a resistência do solo e sua densidade é o teor de umidade do solo. Geralmente, os solos a uma dada densidade mostram menor resistência à penetração quando sob um alto

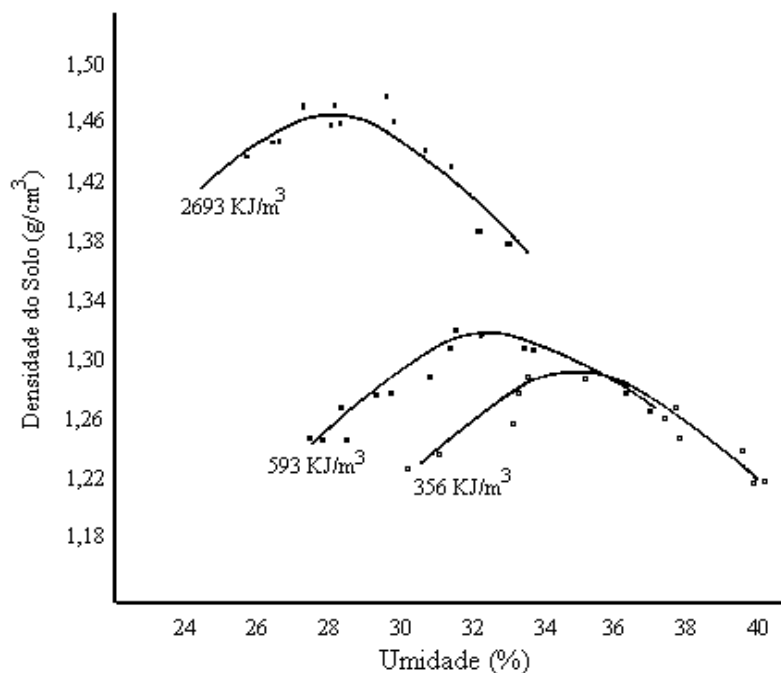


Figura 1 - Curva de compactação do Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa.

teor de umidade do que sob baixo teor. Todavia, o aumento característico em resistência, com o aumento correlativo da compactação, é encontrado tanto com alto como com baixo teor de umidade. Outro fator que influencia a relação entre a resistência do solo e a sua compactação é a distribuição do tamanho de partículas no solo. Solos de textura fina (argilosa), principalmente após uma secagem parcial, mostram, a qualquer teor de umidade, um grande crescimento na coesão, com um aumento na compactação, enquanto solos com textura grosseira (arenosos) não apresentam esta característica. O coeficiente de atrito interno de solos de textura grosseira (arenosos) aumenta com qualquer teor de umidade, com um crescimento correspondente na compactação. Solos de textura fina freqüentemente têm uma resposta semelhante, mas ocasionalmente não há modificação nas características de atrito com aumento na compactação.

Segundo McKYES (1989), o aumento da resistência (dureza) e da compactação do solo, com a conseqüente diminuição da condutividade hidráulica, são condições ideais para os propósitos da construção civil. Estes efeitos são opostamente desejados em solos agrícolas, pois um aumento da resistência do solo à penetração implica aumentar a energia necessária para o preparo deste, dificultando o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. A redução da condutividade hidráulica do solo significa uma redução da capacidade de drenagem interna do solo, prejudicando o sistema radicular das plantas por falta de aeração. Apesar de todas as considerações, a determinação da densidade ótima do solo para a máxima produção agrícola é muito difícil, pois depende da combinação solo x planta x clima. Este ótimo varia muito em função do clima anual, sendo a compactação ideal aquela que permite o máximo de conservação de umidade nas raízes das plantas nos períodos secos. Entretanto, deve haver uma drenagem mínima, o suficiente, para permitir a presença de oxigênio nas raízes durante os períodos úmidos.

BENGOUGH et al (1991) afirmam que, freqüentemente, mais da metade da resistência à penetração do solo por sondas é constituída pelo atrito solo-metal, que varia entre 40% e 80% da resistência total. Muitas tentativas foram realizadas para eliminar a resistência causada pelo atrito solo-metal, e o penetrômetro rotativo é uma destas tentativas. O equipamento possui o funcionamento igual ao do convencional, porém a haste de penetração gira enquanto penetra no solo; deste modo a rotação reduz a resistência à penetração,

porque a resistência friccional em qualquer ponto da superfície de penetração está agindo em direção oposta ao do vetor velocidade de penetração, de tal forma que quanto mais rápida é a rotação, menor é a componente friccional de resistência na direção da penetração.

MANTOVANI et al (1991) determinaram as relações entre o teor de umidade do solo e o grau de compactação. Os resultados mostraram que as máximas densidades tendem a decrescer com o aumento da plasticidade do solo; a máxima compactação foi obtida quando o teor de água estava próximo do limite superior de água disponível.

NOVAK et al (1992) estudaram o efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa (no CNPMS-EMBRAPA em Sete Lagoas, MG). Os tratamentos consistiram em passar 1 ou 15 vezes com o trator sobre o solo em dois níveis de umidade, tendo sido utilizados 4 tratores com distintas pressões de contato com o solo. O critério de avaliação dos danos causados ao solo pelos tratamentos foi a comparação entre a macroporosidade deste solo em seu estado natural (segundo MANTOVANI, 1984 61% e 23% de porosidade total e macroporosidade, respectivamente) com a macroporosidade resultante após os tratamentos; 10% foi considerado o valor mínimo aceitável para a macroporosidade. Feitas estas considerações e tomando $2,61 \text{ g/cm}^3$ como valor médio da densidade das partículas deste solo, estimou-se em $1,36 \text{ g/cm}^3$ como sendo a densidade do solo

limite para se considerar o solo prejudicialmente compactado para a agricultura. Os autores chegaram às seguintes conclusões: 1) o tráfego de trator e as pressões de contato estudadas não compactaram o solo a níveis prejudiciais à porosidade de aeração, em nenhum dos níveis de umidade; e, 2) a umidade em torno de 33% (-0,6 bar) é mais favorável à compactação do que em torno de 30% (-1,8 bar); 3) o ensaio de compactação Normal de Proctor, realizado em laboratório, pode ser usado para prever a compactação no campo.

VENKATARAMA REDDY e JAGADISH (1993) compararam os resultados da compactação estática (proposta pelos autores) com o ensaio de compactação Normal de Proctor. O processo de compactação estática consiste em confinar o solo em um cilindro e aplicar ao solo uma força estática. A compactação pode ser com esforço constante e movimento variável ou esforço variável com deslocamento constante. Os autores montaram um equipamento, utilizando cilindro hidráulico, que permitia esforços variáveis com deslocamento constante de 1,25 mm/min. Vários gráficos foram montados, possibilitando a construção de um ábaco relacionando umidade e densidade do solo com várias curvas de energia volumétrica de compactação. Foi constatado que o processo de compactação estática é mais eficiente energeticamente, pois na mesma umidade do solo, utilizando-se a mesma quantidade de energia volumétrica, obtém-se uma maior densidade do solo na compactação estática do que no ensaio de compactação Normal de Proctor. Os autores comentam que nos ensaios de Proctor parte da energia de impacto do martelo é perdida, provocando

deformações laterais no solo. Deste modo, parte do solo é compactado (abaixo do martelo) e parte é deformado (em volta do martelo); isto ocorre porque o diâmetro do martelo (64 mm) é bem menor que o diâmetro do cilindro que confina o solo (102 mm).

WAGNER et al (1994) estimaram a curva do ensaio de compactação Normal de Proctor a partir de características do solo, usando como variáveis independentes os conteúdos de areia, silte, argila e matéria orgânica, e obtiveram um coeficiente de determinação (R^2) de 0,86 na obtenção da densidade máxima e umidade ótima de compactação do solo em trinta e nove tipos de solos. Na estimativa total da curva de Proctor o coeficiente de determinação foi de 0,72. Os autores destacam a importância deste trabalho no fato de que a máxima quebra, induzida, dos agregados do solo ocorrem em torno da umidade ótima de compactação, determinada pelo ensaio de compactação de Proctor Normal. O conhecimento desta umidade é fundamental para se evitar a compactação e a desestruturação do solo.

LINS E SILVA (1994) estudou a compactação de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa e a sua correlação com o I.C. em função de teor de água do solo e densidade do solo, concluindo que:

- as médias de I.C.s aumentam com a elevação da densidade do solo;

- considerando somente o fator teor de água do solo, nota-se um comportamento inverso ao da densidade, ou seja, quanto menor for o teor de água do solo, maiores são os valores de I.C.s;
- em teores de água do solo superiores a 30 % a densidade deixa de ser importante, estatisticamente, nos resultados do I.C.; e,
- o solo mesmo em níveis baixos de densidade (não estando compactado), o solo pode apresentar-se extremamente duro em função de déficit hídrico, proporcionando elevados valores de I.C.

ARAGON e GARCIA (1995) estudaram, em condições de laboratório, a relação entre I.C. (ASAE S312.2), umidade e densidade do solo, concluindo que há uma grande variação do I.C. em função daqueles parâmetros. A relação I.C. x umidade é linear e inversamente proporcional, obtendo-se uma relação altamente significativa entre os dados. Para a relação I.C. x densidade do solo não foi encontrada uma relação matemática satisfatória que se ajustasse aos dados.

ALBUQUERQUE et al (1995) realizaram um experimento para estudar a influência da compressão, textura e umidade na compactação do solo. Diferentes tipos de solos foram confinados em tubos de 15 cm de diâmetro por 20 cm de altura e submetidos a uma prensa a pressões de 0,63, 0,75 e 0,80 kgf/cm². As umidades foram de 60, 80 e 100 % da capacidade de campo, e os solos utilizados foram de textura arenosa, média e argilosa. Os resultados indicaram que para cada textura de solo existe um ótimo de umidade para a

compactação, fato preconizado anteriormente por outros autores, e que o binômio pressão aplicada - umidade do solo, para se obter maior compactação, pode não ser único, ou seja, variando-se um deles o outro também varia.

3.5 Modelos, representações, desenhos, imagens e comportamento do solo durante a penetração de corpos circulares.

GILL (1968), em estudos realizados em laboratório, constatou, mediante métodos fotográficos, que a penetração no solo de hastes com cone, de diferentes ângulos e materiais, provoca uma área de distúrbio em volta da ferramenta, causando uma compactação do solo (Fig. 2). Segundo o autor, parte do esforço para penetrar o cone no solo deve-se ao atrito solo-metal e parte à ação de compactar o solo. O deslocamento do solo tende a ser mais lateral em relação a ferramenta quando o ângulo do cone e o ângulo de atrito solo-metal são menores, formando uma área circular de solo perturbado. Quando o ângulo do cone é grande, ocorre a formação de uma cunha de solo, no sentido do deslocamento do cone (Fig. 2), ou seja abaixo do cone. O autor constatou que cones com os ângulos entre 30° e 40° são os que proporcionam os menores valores de resistência à penetração, para uma mesma condição de solo.

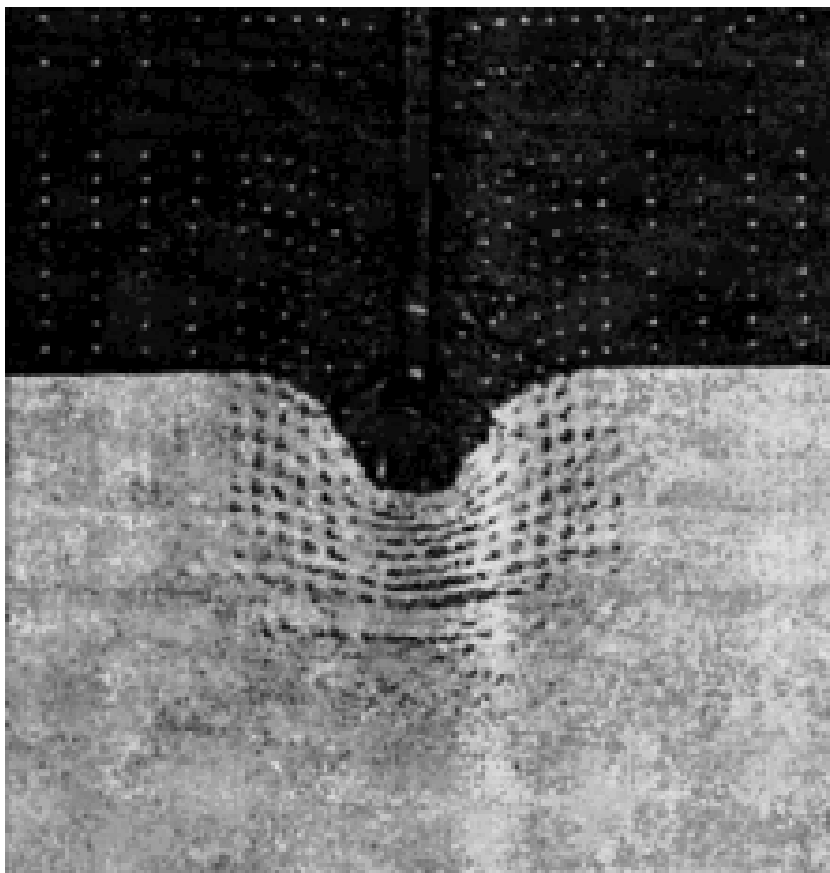


Figura 2 - Distúrbio do solo provocado pela penetração de um cone.

HENDRICK e GILL (1973) afirmam que o movimento de uma ferramenta no solo causa ondas de propagação de tensões e zonas elásticas e plásticas de deformações aparecem em torno da ferramenta. A resistência ao movimento de uma ferramenta aumenta com o acréscimo da velocidade, porém há indícios de que o aumento da velocidade da ferramenta diminui a velocidade de propagação das ondas de tensão, diminuindo a zona de deformação plástica. Segundo os autores existem inferências de que velocidades de ferramentas em solos agrícolas (não saturados) na faixa de 10 a 12 m/s provocam uma redução da energia requerida, pois a ferramenta passaria pelo solo a uma velocidade superior

à da compactação deste. No entanto, deve ser lembrado que quanto maior é a velocidade da ferramenta, maior é a necessidade de energia para a aceleração do solo. A existência deste fenômeno pode ser ou não comprovada, necessitando que as suas propriedades sejam quantificadas.

SPEKTOR (1980) diz que a força de resistência à penetração de ferramentas no solo, segundo a sua própria revisão de literatura, é composta pela força frontal de resistência agindo na ferramenta e pela força de atrito distribuída ao longo da lateral desta. Na maioria dos casos as forças de atrito são pequenas em relação ao esforço total, e em outros casos, dependendo da geometria da ferramenta, esta pode ser desprezada. A resistência frontal exerce efeito predominante sobre o uso de energia nos processos de penetração, atraindo um considerável interesse dos pesquisadores. O autor desfaz algumas controvérsias a respeito do consumo de energia em processos do tipo cíclico ou contínuo (quase-estático) de penetração no solo, provando, de forma analítica e matemática, que em processos cíclicos existe um deslocamento ótimo da ferramenta que requer o mínimo possível de energia. Para modelar e encontrar a mínima energia necessária ao sistema, o autor desenvolve equações matemáticas, a partir do gráfico da Fig. 3, que ilustra o comportamento do solo durante a penetração de uma ferramenta circular, em que a curva "OABCD"

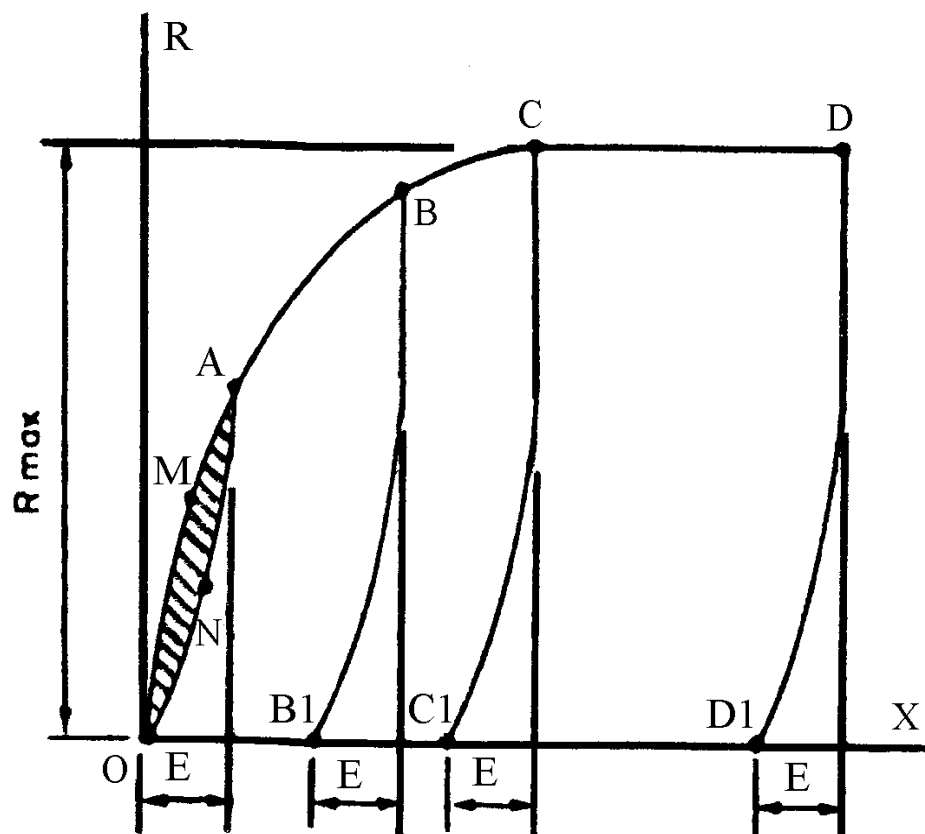


Figura 3 - Gráfico da força de resistência frontal x deslocamento da ferramenta no solo.

caracteriza o processo contínuo de penetração durante o carregamento dos esforços na ferramenta e respectivamente no solo, as curvas “ANO”, “BB1”, “CC1” e “DD1” correspondem ao descarregamento dos esforços. Após o descarregamento, algumas deformações são reversíveis, devido ao comportamento elástico do solo (a deformação reversível é dada pela distância “E” na Fig. 3, que é a mesma para qualquer ponto entre os pontos “ABCD”). Os pontos “OMA” caracterizam a fase elástica do solo, sendo “ANO” a curva de descarregamento e a área ranhurada a histerese nesta fase. Entre os pontos “A”,

“B” e “C” o solo possui deformação reversível e permanente, caracterizando uma fase não elástica; entre os pontos “C” e “D” ocorre o mesmo em relação à deformação de “ABC”, no entanto a força de resistência frontal é máxima e tende a ser uma constante; esta fase é denominada plástica. O autor fornece subsídios importantes para a otimização energética de penetrômetros de impactos e bate-estacas.

SPEKTOR (1981), utilizando os mesmos conceitos publicados em 1980 (SPEKTOR (1980)), avaliou a otimização energética de penetrômetros com diâmetros de 50, 75, 100 e 150 mm, com ângulos de 35°, na condição dinâmica e na quase-estática, em duas condições de solos (campo e laboratório). O ângulo de 35° dos cone foi escolhido para impedir o aparecimento da “cunha” de solo na frente do cone durante a penetração, o que certamente distorce as medidas das propriedades mecânicas do solo. Na série de dados das penetrações quase-estática, utilizando um penetrômetro hidráulico, a velocidade de penetração foi variável de 0,1 a 200 mm/s. Na dinâmica a velocidade inicial variou de 0,5 a 2 m/s, com a utilização especial de um pêndulo para impacto; as velocidades na faixa de 2 a 10 m/s foram obtidas a partir de um dispositivo com cargas explosivas. As Figuras 4 e 5 ilustram, em regime quase-estático, a variação da resistência do solo à penetração (expressa em pressão) com a variação de velocidade do cone em condições de solo de laboratório e de campo. Observa-se que quanto maior é o diâmetro do cone, menor é a variação e o valor da resistência do solo. Na condição de campo a variação da resistência à penetração foi de 17,0, 15,4, 11,5

e 8,6 %, respectivamente para os diâmetros de cone de 50, 75, 100 e 150 mm. Os gráficos das Figuras 6 e 7 mostram, em regime quase-estático e a uma velocidade de penetração de 0,1 mm/s, a resistência frontal (expressa em força) em função do deslocamento do cone em condições de laboratório e de campo. Embora a resistência à penetração expressa em pressão seja decrescente com o aumento do diâmetro dos cones, a resistência frontal expressa em força possui comportamento inverso, ou seja cresce com o aumento dos diâmetros (Figs. 6 e 7). O limite mínimo de velocidade que permite a existência de deformações

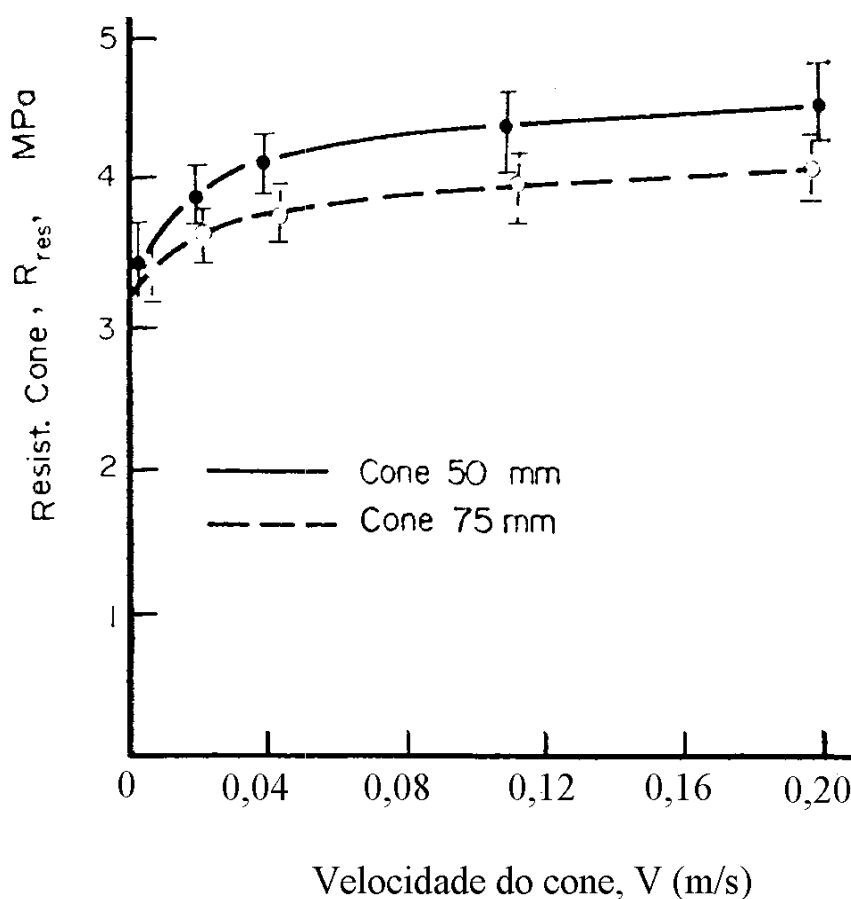


Figura 4 - Resistência do cone x velocidade de penetração (condição de laboratório).

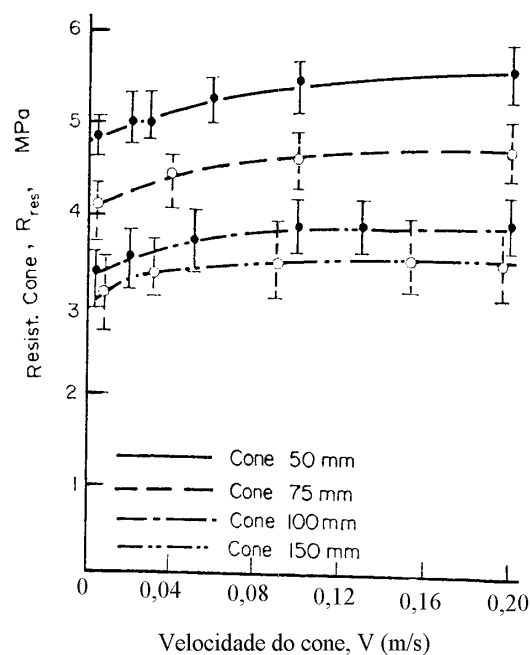


Figura 5 - Resistência do cone x velocidade de penetração (condição de campo).

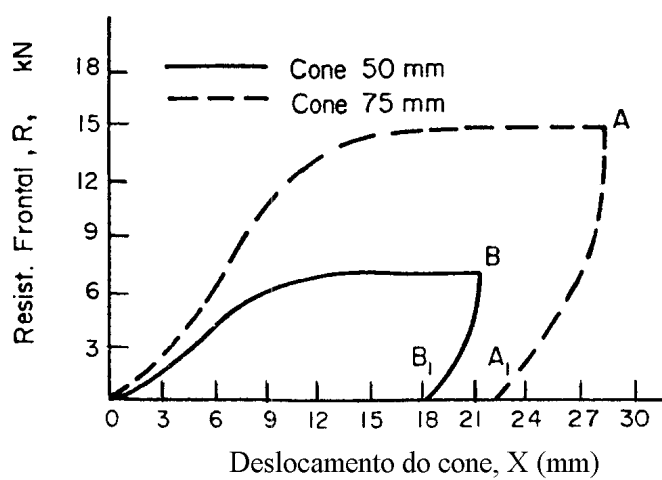


Figura 6 - Força de resistência frontal x deslocamento (condição de laboratório).

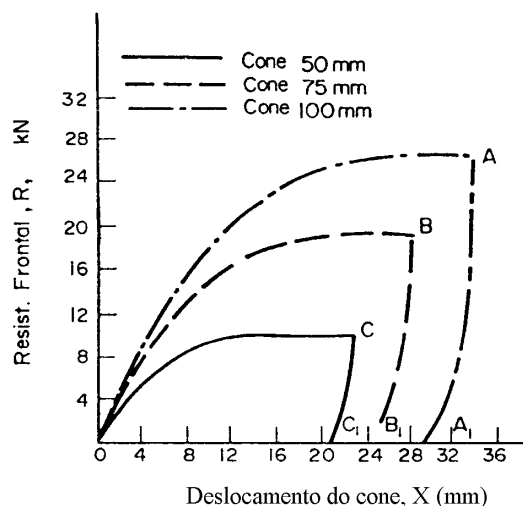


Figura 7 - Força de resistência frontal x deslocamento (condição de campo).

recuperáveis de valores constantes (“E” Fig. 3), descrito por SPEKTOR (1980), foi determinado experimentalmente e corresponde a 0,5, 1,0, 1,7 e 2,6 m/s, para os respectivos diâmetros de 50, 75, 100 e 150 mm. Considerando os gráficos das Figuras 6 e 7, que foram obtidos em regime quase-estático com velocidade de penetração de 0,1 mm/s, pode se dizer que a deformação recuperável é constante em qualquer ponto das curvas, e igual à deformação obtida nos descarregamentos “AA₁”, “BB₁” e “CC₁” nas respectivas curvas das Figuras em questão. O comportamento do cone de 100 mm de diâmetro em condições dinâmicas (com variações de velocidades iniciais) está exposto nas Figuras 8 e 9. Observa-se que na condição de campo, com ciclo dinâmico completo (Fig. 9), houve um aumento de até 23 % na força máxima de resistência frontal, em comparação com a mesma condição de campo em regime quase-estático (Fig. 7). O autor conclui que

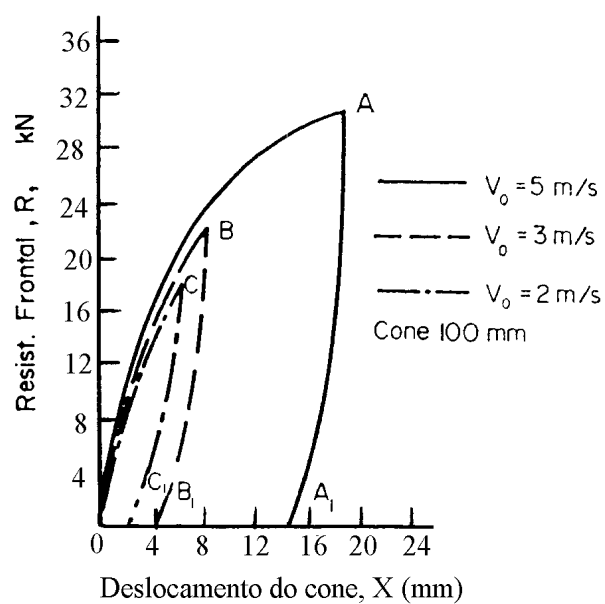


Figura 8 - Força de resistência frontal x deslocamento, ciclo dinâmico abreviado (condição de campo).

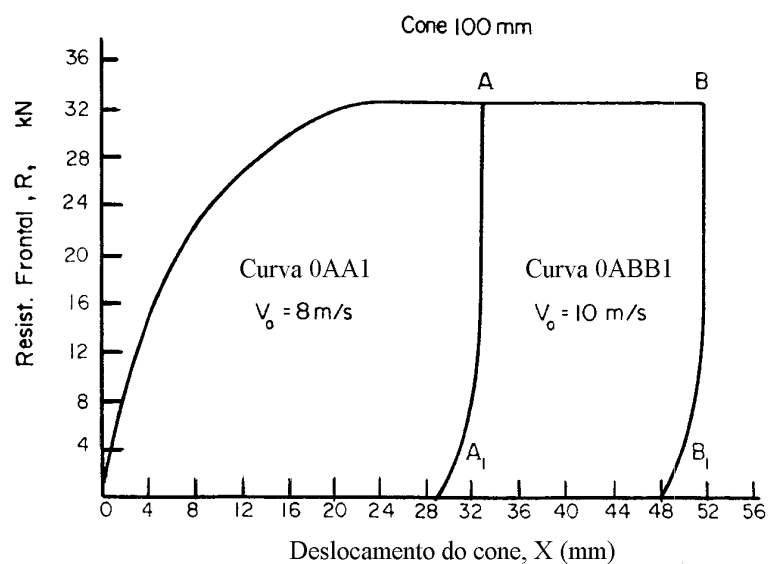


Figura 9 - Força de resistência frontal x deslocamento, ciclo dinâmico completo (condição de campo).

no regime quase estático de penetração o aumento da força frontal é mais lento do que no regime dinâmico e que as leis que regem a força frontal de resistência ao cone são as mesmas para as condições de campo e laboratório estudadas.

BENGOUGH (1992) incluiu na equação, até então considerada como a que melhor representa um cone penetrando no solo, um termo que representa a adesão solo-metal no cone de um penetrômetro. O modelo anterior é dado por:

$$Q_p = \sigma_n * (1 + \mu * \cotg \alpha)$$

onde:

Q_p - Índice de cone.

σ_n - tensão normal na superfície do cone.

μ - coeficiente de atrito solo-metal.

α - semi-ângulo do cone (1/2 ângulo sólido do cone).

Este equacionamento assume que a força de atrito solo-cone (f) é diretamente proporcional à tensão normal, ou seja $f = \mu * \sigma_n$. Neste trabalho, o autor sugere que a força de atrito solo-cone seja dado por:

$$f = \mu * \sigma_n + C_a,$$

onde:

C_a - adesão tangencial.

A nova representação dos esforços no cone é representada na Fig. 10. Considerando um cone de raio máximo igual a R , obtém-se a componente

vertical da força normal agindo no anel de raio igual a “r” e largura igual a “dl”,
dada por:

$$dF_n = 2 * \pi * r * \sigma_n * \sin \alpha * dl$$

$$\sin \alpha = dr/dl \Rightarrow dl = dr/\sin \alpha$$

$$dF_n = 2 * \pi * r * \sigma_n * \sin \alpha * dr/\sin \alpha$$

$$F_n = \int_0^{F_n} dF_n = 2 * \sigma_n * \pi * \int_0^R r * dr$$

$$F_n = \pi * R^2 * \sigma_n$$

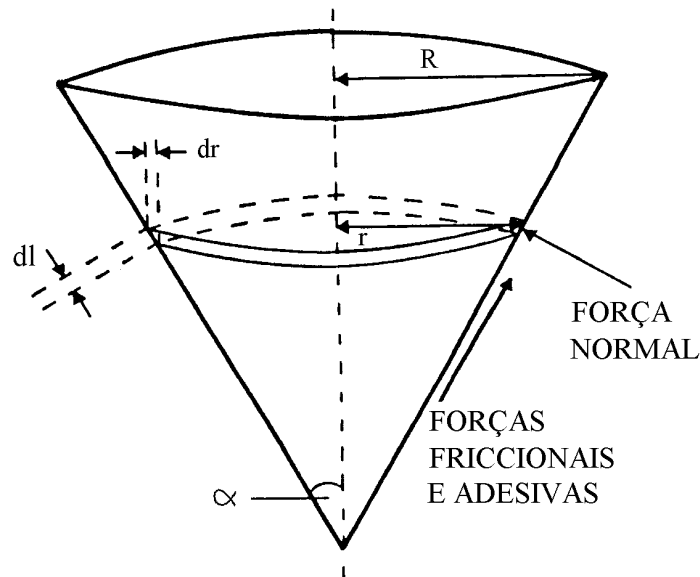


Figura 10 - Esquema dos esforços agindo no cone.

A componente vertical da força friccional agindo no anel de raio igual a “r” e largura igual a “dl” é dada por:

$$dF_f = \cos \alpha * (\mu * \sigma_n + C_a) * 2 * \pi * r * dl$$

$$dF_f = \cos \alpha * (\mu * \sigma_n + C_a) * 2 * \pi * r * dr/\sin \alpha$$

$$F_f = \int_0^{F_f} dF_f = 2 * \pi * \cot g \alpha * (\mu * \sigma_n + C_a) * \int_0^R r * dr$$

$$F_f = \pi * R^2 * \cot g \alpha * (\mu * \sigma_n + C_a)$$

Uma nova equação do I.C. é dado pela soma dos esforços dividido pela área da base do cone:

$$Q_p = (F_n + F_f) / \pi * R^2$$

$$Q_p = \sigma_n * (1 + \mu * \cot g \alpha) + C_a * \cot g \alpha$$

O autor comenta que o valor de C_a pode ser determinado experimentalmente em laboratório, e que o fator de adição para a adesão ($C_a * \cot g \alpha$) é significativo nos resultados de I.C. somente quando se usam penetrômetros com semi-ângulos pequenos. Com um semi-ângulo de 5° o fator é seis vezes maior do que com um semi-ângulo de 30° , e em semi-ângulos superiores a 30° o fator assume pouca importância.

QUN et al (1992) desenvolveram um sistema de captura de imagens para qualificar a deformação do solo em volta de um cone de 30° de um penetrômetro hidráulico. Os autores esperam, em trabalhos futuros, poder diferenciar a zona de comportamento plástico e elástico em volta do cone. Embora no trabalho não fique caracterizada a velocidade de penetração e o tipo de solo utilizado, a Fig. 11 ilustra a existência de uma área de distúrbio em volta da haste e do cone.

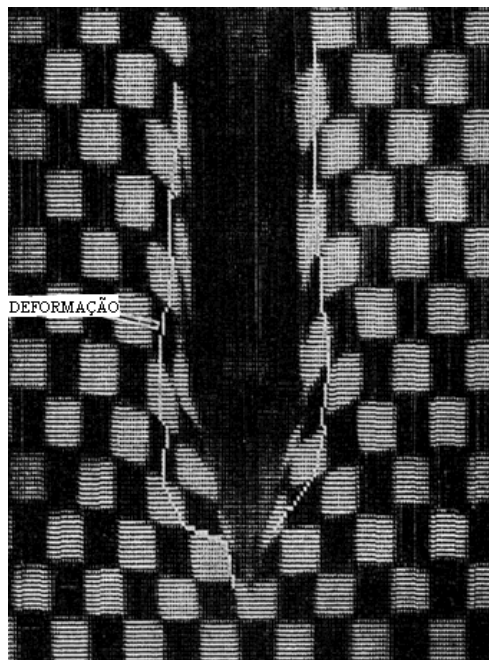


Figura 11 - Deformação do solo em volta da haste e cone de 30°.

3.6 Modelos matemáticos para o diagnóstico da compactação.

AYERS e PERUMPRAL (1982) propuseram o seguinte modelo para correlacionar índice de cone, densidade do solo e umidade:

$$C_1 = (C_1 * DD^{C_4}) / [C_2 + (MC - C_3)^2]$$

ou

$$DD = \{ (C_1 / C_1) * [C_2 + (MC - C_3)^2] \}^{1/C_4}$$

onde:

C_1 - índice de cone [kPa];

DD - densidade do solo [g/cm³].

MC - Umidade do solo [%].

C_1 , C_2 , C_3 e C_4 - constante estimadas, que dependem do solo.

Foram utilizados cinco solos artificiais, com diferentes texturas: 100% de argila; 75% argila e 25 % areia; 50% argila e 50% areia; 25% argila e 75 % areia; 100% areia. Os coeficientes de determinação (R^2), em função do tipo de solo, foram 0,985, 0,983, 0,978, 0,982 e 0,940 respectivamente. Os testes foram realizados em laboratório e os solos artificiais foram compactados dentro de cilindros de alumínio, utilizados no teste de Proctor Normal. Três diferentes níveis de compactação foram obtidos, usando 3, 6 e 12 golpes do martelo do teste de Proctor em cada camada de solo. A variação de umidade ocorreu entre 0 e 20%.

Para obter o I.C. foi utilizada uma máquina de testes Instron modelo TM-S 311 e um cone de 0,5 pol² de área na base, de acordo com a recomendação ASAE R313.1. A velocidade do cone no solo foi de 1270 mm/min, inferior à recomendada pela ASAE, para possibilitar a utilização da máquina de testes “Instron”, pois com a velocidade recomendada, em algumas condições do solo a capacidade da máquina seria ultrapassada.

Os autores constataram, que o comportamento do I.C. em função da umidade descreve uma parábola com a concavidade voltada para baixo, e que o máximo índice de cone não ocorre na umidade que produz a máxima densidade na compactação. O valor da umidade de máximo I.C. é inferior ao de máxima compactação, e é a mesma que produz a máxima resistência ao cisalhamento, determinada em teste triaxial de compressão. Knight em 1948, Hough em 1957 e Smith em 1964, apud AYERS e PERUMPRAL (1982), já haviam relatado este fenômeno. Foi observado que o I.C. aumenta com a densidade do solo e diminui consideravelmente em altos teores de umidade. No solo constituído 100% por

areia, a relação entre o I.C. e a densidade do solo mostrou-se independente em relação à umidade. A umidade na qual o I.C. é máximo depende do tipo de solo, que aumenta com o aumento da porcentagem de argila. As constantes do modelo matemático são altamente dependentes do tipo de solo. O modelo delineado é baseado em resultados de testes conduzidos em amostras de solos preparados. Se o modelo for utilizado para prever a densidade do solo em condições de campo (naturais), as constantes de cada tipo de solo devem ser novamente estimadas. Com os resultado deste trabalho fica evidente o potencial de utilização de penetrógrafos, em pesquisas futuras, para predizer a densidade de sub-superfície do solo “in situ”.

RAGHAVAN e OHU (1985) realizaram um estudo para encontrar a pressão estática que, aplicada ao solo, produz a mesma compactação do teste de Proctor Normal. Com 5, 15 e 25 golpes os níveis de pressão estática aplicados ao solo por dois minutos foram, respectivamente 175 kPa, 404 kPa e 618 kPa. O trabalho foi realizado utilizando três texturas distintas de solo, com variações do conteúdo de matéria orgânica (carbono) e umidade. Os dados levantados mostraram uma relação linear entre o número de golpes do método de compactação de Proctor com a pressão estática equivalente. Os resultados das compactações foram comparados pelos I.C.s. obtidos por um penetrógrafo com cone de 30°, diâmetro da base de 15 mm e velocidade de deslocamento no solo de 1829 mm/min. Para os mesmos valores de I.C., obtidos nas amostras compactadas pelo método de Proctor e nas compactadas pela carga estática, não

houve diferença estatística significativa da pressão aplicada ao solo. Quando as variações ocorriam no tipo de solo, quantidade de matéria orgânica e umidade, diferenças significativas foram encontradas ao nível de 5%. Os autores encontraram a seguinte equação para prever a pressão estática em função do número de golpes do método de Proctor:

$$P_{\text{estát.}} = 66,70 + 22,10 * N$$

onde:

$P_{\text{estát.}}$ - pressão estática [kPa].

N - número de golpes do método de Proctor.

A equação acima possui um coeficiente de determinação (R^2) de 0,998 a um nível de significância de 0,0001. Por causa do alto coeficiente de determinação da regressão, os autores sugerem a utilização deste estudo, em condições de campo, para avaliar efeitos da compactação em função dos equipamentos utilizados e as cargas estáticas aplicadas por estes, no solo, durante todo o ciclo da produção agrícola.

Segundo BAILEY et al (1986), a compactação de solos agrícolas pode variar bastante durante o desenvolvimento da cultura, devido às várias operações agrícolas que aplicam esforços ao solo. Um modelo adequado para prever compactação de solos agrícolas deve ser capaz de prever a densidade do solo em uma grande faixa do nível de compactação. O modelo logarítmico, convencional, não prediz adequadamente a densidade do solo quando a

compactação ou a tensão aplicada ao solo é baixa. Neste trabalho 3 parâmetros multiplicativos são propostos para modificar o modelo logarítmico convencional. O novo modelo satisfaz certas condições de contorno para deformação volumétrica natural do solo; quando submetido a baixos ou altos níveis de tensões, estas condições não eram atendidas anteriormente.

OHU et al (1988) encontraram uma equação para prever o índice de cone em três solos, com texturas e conteúdo de matéria orgânica diferentes, submetidos a três níveis de energia de compactação e com variação de umidade. Em 1982 Upadhyaya et al, apud OHU et al (1988), usando técnicas de análise adimensional, propuseram o seguinte modelo para prever o índice de cone:

$$\alpha^*(C_I/K) = a * (\rho/\rho_s)^n * e^{-b\theta}$$

onde:

C_I - Índice de cone [kPa].

K - Módulo de elasticidade [kPa].

ρ - Densidade do solo.

ρ_s - Densidade de partículas do solo.

θ - Umidade do solo.

α - Fator adimensional, numericamente igual a K .

a , b e n - Constantes estimadas do modelo (dependem do tipo de solo).

OHU et al (1988), descreveram o índice de cone pela seguinte equação funcional:

$$C_I = f(T_s, P_c, \rho, Q_p, W, \text{argila, silte, areia, d, MO})$$

onde:

C_I - Resistência do solo à penetração (índice de cone).

T_s - Resistência do solo ao cisalhamento.

P_c - Pressão aplicada no solo para a compactação.

ρ - Densidade do solo.

Q_p - Peso unitário do solo úmido x altura da coluna de solo.

W – Umidade.

Argila - Conteúdo em porcentagem.

Areia - Conteúdo em porcentagem.

Silte - Conteúdo em porcentagem.

d - Profundidade de medição.

MO - Conteúdo de matéria orgânica em porcentagem.

O modelo proposto é dado por:

$$(C_I/P_c) = A * (T_s/Q_p)^n$$

Devido a variação do índice de cone, pela variação da umidade do solo, o modelo foi modificado para:

$$(C_I/P_c) = A * (T_s/Q_p)^{n+\theta}$$

onde:

θ - É uma relação entre o volume de água contido no solo pelo volume de solo.

A e n - São funções do tipo de solo e da porcentagem de umidade.

O modelo mostrou-se bastante preciso em relação aos índices de cone medidos no campo, alcançando um coeficiente de determinação (R^2) de 0,98.

BUSSHER (1990), no estudo da resistência à penetração do solo, utilizou quatro equações anteriormente propostas por outros autores e propôs outras quatro, com o auxílio do pacote estatístico SAS. Neste trabalho foi relacionada, para cada equação, a resistência à penetração, com a densidade volumétrica do solo, tensão de retenção de água, umidade e teor de água do solo na saturação. O autor utilizou um penetrômetro de ponta plana de 5 mm de diâmetro, impulsionado a uma velocidade de 0,28 mm/s. Cada modelo matemático foi aplicada em sete tipos de solo. As amostras foram retiradas em condições de campo ou preparadas em laboratório, de forma a permitir uma faixa variada de densidade e umidade do solo. Os coeficientes de determinação (R^2) variaram entre 0,86 e 0,96 para as condições de laboratório; para o campo a variação foi de 0,78 a 0,90. Os melhores resultados foram obtidos nas equações que consideraram as seguintes condições de contorno: resistência à penetração igual a “zero” quando a umidade do solo é a umidade de saturação; resistência à penetração igual a “ ∞ ” quando a umidade do solo é igual a “zero”. O autor salienta que as equações não se estendem aos penetrômetros comuns, pois a metodologia de amostragem dos dados são diferentes.

SCHAFER et al (1991) dizem que o grau de compactação desejado depende do propósito a ser atingido. Por exemplo, os requerimentos de tração e mobilidade são completamente diferentes dos necessários a uma boa infiltração de água e desenvolvimento das raízes. Os autores desenvolveram um modelo de compactação do solo relacionando o sistema solo-máquina e que pode ser utilizado para dimensionar sistemas para efetiva administração das condições físicas do solo. Quando se considera compactação, 4 pontos devem ser incluídos:

- 1 - a fonte de forças que causam compactação no sistema;
- 2 - a propagação e distribuição de tensões na massa do solo causadas pelas forças do sistema;
- 3 - resposta do solo à tensão (comportamento de compactação); e,
- 4 - a relação (e conseqüências) da compactação na cultura implantada no sistema (a planta, o movimento de líquidos e gases e as atividades químicas e biológicas).

LINS E SILVA (1994) obtiveram vários modelos para correlacionarem o I.C. com a densidade e o teor de água do solo de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso em condições de campo. O melhor modelo de regressão múltipla encontrado para descrever o comportamento do I.C. foi o linear. O coeficiente de determinação do modelo (R^2) ficou em 0,3787 e a correlação (R) em 0,6154. O modelo é dado por:

$$I.C. = 64,92 \cdot D - 3,58 \cdot T + 29,18$$

onde:

I.C. - Índice de cone [kgf/cm²];

D - Densidade do solo [kg/dm³];

T - teor de água do solo [%].

Devido aos baixos coeficientes de determinação e de correlação encontrados no melhor modelo de regressão múltipla, outros modelos de regressões simples foram obtidos em cada faixa de estudo de densidade e de teor de água do solo, porém o máximo R^2 encontrado para estas situações foi de 0,573, insuficiente para viabilizar a utilização dos modelos em questão. Segundo o autor, nas condições estudadas e com a metodologia empregada, a interação, altamente significativa dos fatores, inviabiliza a utilização dos dados em modelos de regressões simples ou múltiplas com bons coeficientes de determinação.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

4.1.1. Local do experimento

O experimento foi realizado no laboratório de Fitossanidade da Escola Agrotécnica Federal de Cáceres-MT.

4.1.2. Solo

Segundo JACOMINE et al (1995), o solo utilizado neste experimento foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro textura argilo-arenosa (45% de argila, 9% de silte e 46% de areia) da região de cerrados do Centro-Oeste brasileiro no Município de Itiquira-MT (região Sul de MT). A Tabela 1 mostra os resultados das análises de granulometria, a determinação da capacidade de campo (CC), o ponto de murcha permanente (PMP) e os valores de densidade de partículas.

Tabela 1 – Análise da textura, CC, PMP e densidade de partículas.

Rep.	Argila [g/kg]	Silte [g/kg]	AREIAS							
			Areia Total [g/kg]	Areia 0,053 [g/kg]	Areia fina [mm] 0,13 [g/kg]	Areia grossa [mm] Total [g/kg]	0,25 [g/kg]	0,5 [g/kg]	1,0 [g/kg]	Total [g/kg]
1	460	80	460	60	220	280	170	10	0	180
2	450	90	460	60	240	300	150	10	0	160
3	440	100	460	60	220	280	170	10	0	180
4	460	100	440	60	220	280	150	10	0	160
5	440	90	470	60	250	310	150	10	0	160
6	450	80	470	60	250	310	150	10	0	160
Média	450	90	460	60	233	293	157	10	0	167
Rep.	PMP a 1.500 kPa [%]		C.C. a 30 kPa [%]		Densid. de partículas. [kg/dm ³]					
1	16,84		21,22		2,78					
2	16,39		20,22		2,90					
3	16,42		20,76		2,68					
4	16,52		20,64		2,71					
5	16,03		20,46		2,80					
6	15,90		20,40		2,84					
Média	16,35		20,62		2,79					

4.1.3. Equipamentos e utensílios utilizados para manuseio e acondicionamento do solo em laboratório.

Caixas de amianto com capacidade volumétrica de 0,25 e 0,5 m³, tambores plásticos com capacidade de 0,02 e 0,25 m³, lona plástica de 20 m², betoneira elétrica com capacidade volumétrica de 0,20 m³, peneira com malha de aço de 2 mm, pás, enxadas, colher de pedreiro, carrinho-de-mão, bandeja metálica e garrafas plásticas de refrigerantes de 0,002 m³.

4.1.4. Equipamento utilizado para pesagem e determinação da umidade do solo.

Estufa elétrica para esterilização, com termostato para controle de temperatura, marca Fanen; cadinhos de 50 mm de diâmetro com tampa; balança eletrônica com capacidade máxima de 200 g e precisão de 0,01 g, marca Ohaus; e balança eletrônica com capacidade máxima de 50 kg e precisão de 0,003 kg, montada com: tripé de madeira, argolas, corda, cesto plástico, sistema de aquisição de dados modelo Spider marca Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), célula de carga modelo SV 50 marca Alfa Instrumentos, com capacidade nominal de 50 kg.

4.1.5. Equipamento para o ensaio de compactação

Cilindros: a) cilindro metálico de 3460 cm^3 de volume (ϕ de 157,4 mm e altura de 177,8 mm) e cilindro de extensão com altura de 50,8 mm e mesmo diâmetro; b) cilindro com as mesmas dimensões do cilindro anterior, exceto o diâmetro que será de 314 mm.

Martelos: a) compactador para o teste de Marshall, YODER (1959), com peso para impacto de 4,54 kg (10 lbs) e altura de queda de 457,2 mm (18 polegadas), adaptado para compactação no cilindro “a”, ou seja diâmetro do disco de contato com o solo modificado, originalmente, de 101,6 mm (4 polegadas) para

Obs: As menções de marcas não significam recomendações do autor

155 mm. b) Para uso no cilindro “b” foi construído um martelo tipo Marshall com as seguintes dimensões: peso para impacto de 9,085 kg, altura de queda de 900 mm e disco de contato com o solo de 312 mm.

Extratores de amostras tipo “a” e “b”, compostos por suporte metálico e macaco hidráulico, projetados para retirar amostras dos cilindros tipo “a” e “b”.

Faca de cozinha e lâmina de aço utilizadas para cortar o excesso de solo nas bordas dos cilindros.

4.1.6. Material utilizado para a determinação de macro e micro porosidade.

Anéis de PVC com diâmetro interno de 97,5 mm e altura de 36 mm (volume interno de 268,78 cm³); tecido tipo malha de algodão; elástico construído de câmara de ar de bicicleta, adaptador para diminuir a área de contato solo-martelo tipo “a” de 101,6 mm (4 polegadas) para 96,5 mm e equipamento específico para a sucção da água das amostras de solo, denominado “panela de pressão”.

4.1.7. Penetrômetro

Penetrômetro hidráulico com aquisição eletrônica dos dados (Figs. 12, 13 e 14), utilizado para quantificar e registrar a resistência do solo à penetração. O equipamento foi desenvolvido no Laboratório de Protótipos da

FEAGRI-UNICAMP. O penetrômetro, opera em uma faixa ajustável de velocidade de 1 a 150 mm/s, podendo ser utilizado em condições de campo e de laboratório, o equipamento é composto por: chassi acoplável ao sistema de levante hidráulico de três pontos de tratores agrícolas categoria dois, com estrutura para fixação do cilindro de solo pronto à penetração; sistema hidráulico; haste e cone de aço inoxidável; célula de carga; sensor resistivo de deslocamento; sistema de aquisição de dados; software gerenciador da aquisição de dados, micro computador portátil e quatro baterias automotiva de 12V para fornecimento de energia aos acessórios do penetrômetro.



Figura 12 – Vista frontal do penetrômetro acoplado ao trator.

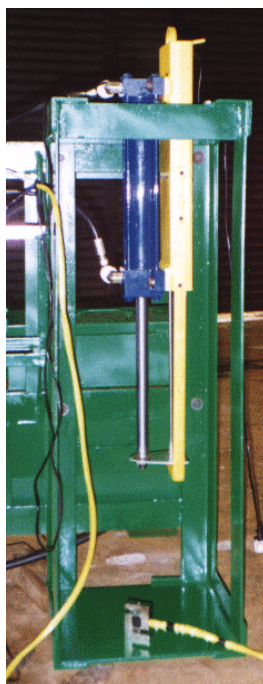


Figura 13 - Estrutura para fixação do cilindro de solo pronto para penetração em laboratório.

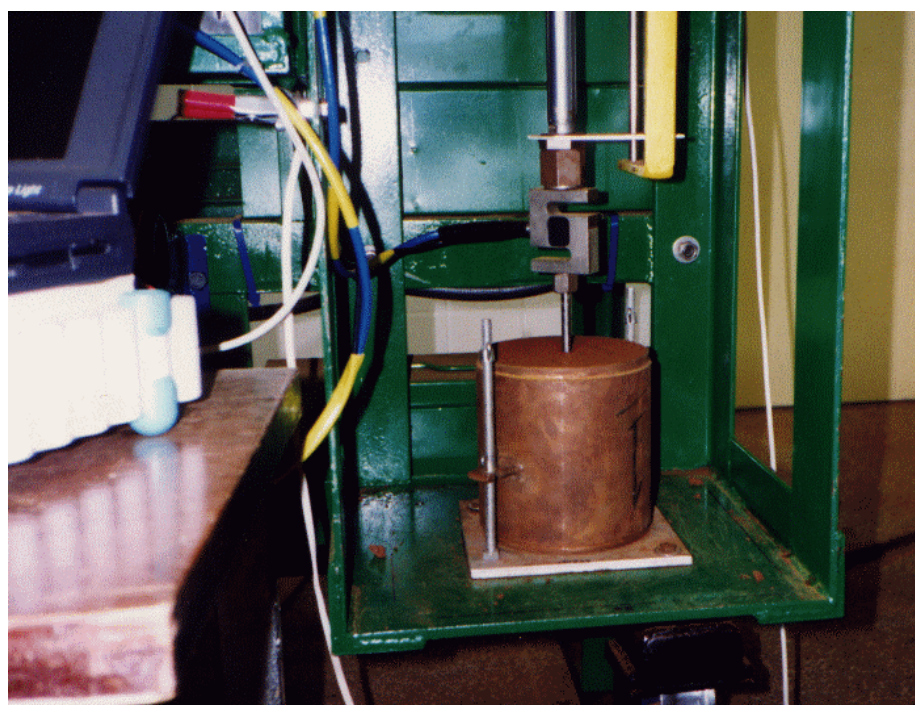


Figura 14 – Haste, cone e célula de carga impulsionados pelo cilindro hidráulico, penetrando na amostra de solo fixada ao chassi do penetrômetro.

4.1.8. Chassi do penetrômetro

O chassi do penetrômetro é acoplável ao sistema de levante hidráulico de três pontos de tratores agrícolas, categoria dois (Fig. 12). Possui estrutura para fixação dos cilindros tipo “a” ou “b” para a penetração do cone (Figs. 13 e 14) e bancada para a instrumentação eletrônica.

4.1.9. Sistema hidráulico

O sistema hidráulico do equipamento é composto por: cilindro hidráulico de 350 mm de curso (utilizado em laboratório); cilindro hidráulico de 800 mm de curso (utilizado no campo); duas válvulas reguladoras de vazão com retenção; duas bombas hidráulicas (uma acionada por motor elétrico e a outra por eixo com juntas universais para acoplamento à tomada de força de tratores agrícolas); válvula direcional de centro aberto; duas válvulas de retenção; válvula reguladora de pressão; manômetro; filtro; e tanque de óleo hidráulico com visor de nível, termômetro e tampa com tela filtrante. O diagrama da montagem do sistema hidráulico do penetrômetro é mostrada na Fig. 15.

4.1.10. Haste e cone de aço inoxidável

Construídos conforme as recomendações da ASAE de 1978 (ASAE R311.1):

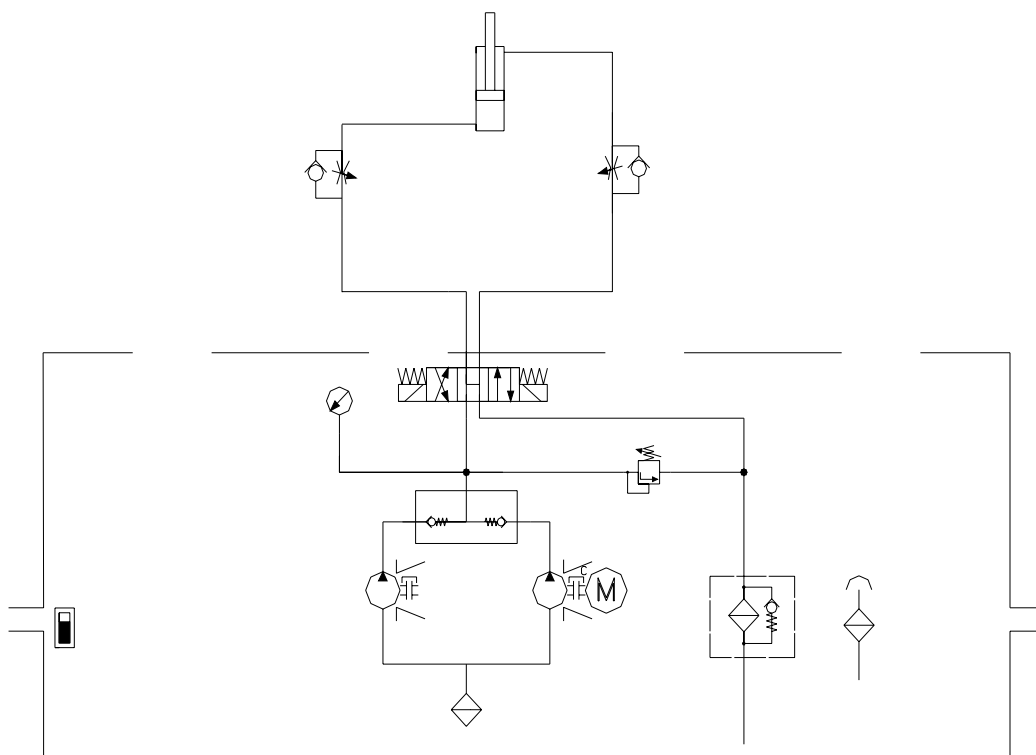


Figura 15 - Diagrama do sistema hidráulico do penetrômetro.

- cone “B”, diâmetro da haste de 9,5 mm, diâmetro da base do cone de 12,83 mm (0,2 pol² de área), comprimento total do conjunto 200 mm.

4.1.11. Célula de carga

Célula de carga do tipo “S”, marca Alfa Instrumentos, modelo Z-250, com: temperatura compensada; instrumentada com extensômetros elétricos de resistência (strain gauges), em forma de ponte de Wheatstone completa; sensibilidade de 2.000 mV/V; excitação de 10 Vcc; erro total combinado máximo de 0,03%; e, capacidade de 250 kgf.

4.1.12. Sensor resistivo de deslocamento

Marca Sensin, modelo 114L 12D, série 25, com impedância de 10 k Ω e curso de 450 mm.

4.1.13. Sistema de aquisição de dados

Marca Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), modelo Spider 8, composto de 4 canais responsáveis pela excitação e conversão do sinal analógico para digital das células de carga. O equipamento possui as seguintes especificações: compatível com computadores padrão IBM PC; classe de precisão 0,1; tensão de alimentação; tensão de excitação para célula de carga de 10 V; taxa máxima de aquisição de 9,6 kHz; conexão via saídas paralela ou serial; e controle de operação via software.

4.1.14. Programa gerenciador da aquisição de dados

Programa elaborado com uso do software Catman* versão 1.2 release 9 responsável por: sincronismo e determinação da profundidade de início e fim da aquisição dos dados; taxa de aquisição de dados; determinação

* Software e autorização para utilização fornecidos pela Brüer & Kjer Instrumentos Eletrônicos do Brasil Ltda

do número máximo de leituras; seleção da velocidade de penetração do cone; armazenamento da calibração da célula de carga e do sensor de deslocamento linear; apresentação em tempo real da velocidade, profundidade e resistência do solo à penetração; tamanho do bloco e gravação dos dados em disco rígido; e controle da balança eletrônica de 50 kg descrita no item 4.1.4.

4.1.15 Micro computador portátil

“Notebook” padrão IBM PC, com processador Pentium 100, disco rígido de 1,44 Gb e saídas paralela e seriais.

4.1.16. Bateria automotiva de 12V

Bateria automotiva de 12 Vcc e capacidade de 45 A por hora.

4.2. Métodos

4.2.1. Armazenamento do solo em laboratório

O solo, após seco, foi peneirado em malha de 2 mm sobre uma lona plástica, tendo sido armazenado em laboratório por aproximadamente 6 meses em caixas de amianto e tambores plásticos.

4.2.2. Umidificação do solo para preparação de amostras

Com a determinação da umidade do solo armazenado, calcula-se, matematicamente, a quantidade de água necessária para ser misturada ao solo para que este atinja a umidade desejada (no experimento adotaram-se as umidades de 13, 15, 17 e 20%). Utilizando-se os equipamentos descritos em 4.1.3. e 4.1.4., o solo e a água são misturados mecanicamente. Após o preparo da mistura o solo é armazenado em tambores plásticos hermeticamente fechados por 48 horas.

4.2.3. Construção do gráfico da densidade x umidade do solo em função de diversas curvas de energia de compactação

Foram realizados vários ensaios de compactação (equipamento descrito no item 4.1.5.), para se determinar o comportamento da densidade do solo em função da umidade em cada nível de energia de compactação. O procedimento utilizado para compactação foi semelhante ao descrito na metodologia de Proctor (VARGAS (1977)). As diferenças entre a metodologia utilizada para compactação e a de Proctor são: o volume dos cilindro “a” e “b”; massa e altura de queda dos martelos “a” e “b”; no número de camadas de solo no cilindro (5); no número de golpes por camada de solo (de 5 a 144) e na energia de compactação obtida. Os níveis de energia das compactações plotados no gráfico

estão listados na Tabela 2, em função do número de golpes do martelo em cada camada de solo.

Tabela 2 - Número de golpes por camada de solo para cada nível de energia.

Golpes [Número]	Energia [k J/m ³]	Golpes [Número]	Energia [k J/m ³]
5	156,85	64	2007,69
11	345,07 ^a	86	2697,83 ^c
19	596,03 ^b	122	3827,15
32	1003,84	144	4517,29
48	1505,76		
^a Energia de compactação de Proctor de 15 golpes ^b Energia de compactação Normal de Proctor ^c Energia de compactação de Proctor modificado			

4.2.4. Análises de micro e macro porosidade

Com o auxílio do equipamento descrito no item 4.1.6., foi realizada a análise de micro e macro porosidade pelo método da “panela de pressão”. O solo foi compactado nos anéis de PVC, com energia de compactação de: 157, 345, 596, 1004, 1506, 2008, 2698, 3827 e 4517 kJ/m³ respectivamente. As umidades utilizadas para a compactação foram de aproximadamente: 13, 16, 17, 18, 19 e 22 % respectivamente. Saturando as amostras de solo compactadas nos anéis de PVC e utilizando a tensão de 6 kPa para a sucção da água, calcula-se micro, macro e porosidade total das amostras de solo.

4.2.5. Preparação das unidades experimentais

As amostras de solo, após terem recebido o tratamento descrito nos itens 4.2.1. e 4.2.2., foram compactadas nos cilindros “a” ou “b”, com o auxílio dos seus respectivos martelos, nas energias correspondentes a 5, 11, 19, 32 e 48 golpes por camada de solo, em um total de 5 camadas por cilindro.

As umidades utilizadas foram de 13, 15, 17 e 20 %, cobrindo o ramo seco e úmido das curvas de compactação. Com o solo compactado no interior do cilindro recorta-se o excesso de solo das bordas.

4.2.6. Determinação da resistência do solo à penetração

Antes da penetração o cilindro com solo é pesado e fixado no suporte do penetrômetro (item 4.1.8)., para ser penetrado a uma determinada velocidade, previamente ajustada no equipamento. A aquisição de dados foi realizada, em tempo real e de forma automática, à profundidade compreendida entre 0 e 140 mm na altura do cilindro, a uma taxa de 1200 Hz, adequada para se obter no mínimo 12 pontos por mm de penetração, na maior velocidade prevista para o experimento. Nas velocidades de penetração de 5, 10, 20, 30, 48, 45 e 70 mm/s foram utilizados os cilindros tipo “a” na velocidade de 100 mm/s foram

utilizados os cilindros “a” e “b”, para se verificar a existência do efeito de borda do cilindro menor.

4.2.7. Determinação da umidade do solo

Imediatamente após a penetração, três amostras de solo são recolhidas em fatias aleatórias do centro do cilindro utilizado, para que as suas respectivas umidades sejam determinadas pelo método gravimétrico.

4.2.8. Determinação da densidade do solo na amostra compactada

A densidade do solo da amostra compactada é calculada pela razão entre o peso seco do solo e o volume do cilindro; para isto é necessário conhecer o volume do cilindro, o peso vazio do cilindro, o peso do cilindro com o solo compactado e a umidade do solo compactado.

4.2.9. Descrição dos tratamentos experimentais

Foram utilizadas vinte condições distintas de solo, combinando 5 níveis de energia de compactação com 4 níveis de umidade do solo. Os tratamentos do cone são compostos por diferentes velocidades de penetração (7 níveis): 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s (a velocidade de 30,48 mm/s é a recomendada como padrão pela ASAE).

4.2.10. Nomenclatura utilizada na combinação dos tratamentos do solo, do cone e profundidade de análise

A combinação dos 20 tratamentos de solo com os 7 do cone resultaram em 140 tratamentos, que foram repetidos 3 vezes, totalizando 420 amostragens. A convenção utilizada para descrever os tratamentos possui a forma de XYYZZ, onde:

- X é o nível de densidade do solo, onde: “B” é baixa energia de compactação (157 kJ/m^3); “I” é energia de compactação intermediária (345 kJ/m^3); “M” é energia de compactação média (596 kJ/m^3); “A” energia de compactação alta (1004 kJ/m^3); e “S” super energia de compactação (1506 kJ/m^3);
- YY é a umidade do solo, caracterizado numericamente pelo seu percentual; e,
- ZZ é a velocidade de penetração dada por: 05; 10; 20; 30; 45; 70 e 00 (100 mm/s).

As profundidades foram convencionadas P_1 , P_2 , P_3 , P_4 e P_5 , referem-se as médias dos dados nas profundidades do cilindro de 85 a 94 mm, 95 a 104 mm, 105 a 114 mm, 115 a 124 mm, 125 a 134mm.

4.2.11. Modelos matemáticos

Os modelos testados para ajustar a variação do I.C. em função da velocidade foram:

$$1) y = b_0 + b_1 \cdot x;$$

$$2) y = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2;$$

$$3) y = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 + b_3 \cdot x^3;$$

$$4) y = b_0 \cdot b_1^{(x)};$$

$$5) y = b_0 \cdot e^{(b_1 \cdot x)};$$

$$6) y = b_0 + b_1 \cdot \ln(x);$$

$$7) y = b_0 \cdot x^{(b_1)};$$

$$8) y = e^{(b_0 + (b_1/x))};$$

$$9) y = b_0 + (b_1/x);$$

onde:

b_0 e b_1 são constantes dos modelos,

y - variável dependente do modelo (I.C. em kgf/cm²),

x - variável independente (velocidade em mm/s).

O modelo ajustado para correlacionar a densidade do solo com o I.C.

e a umidade do solo, em cada uma das velocidades estudadas, é dado por:

$$D = (b_{00} + b_{01} \cdot U + b_{02} \cdot U^2 + b_{03} \cdot U^3) + (b_{10} + b_{11} \cdot U + b_{12} \cdot U^2 + b_{13} \cdot U^3) \cdot IC + \\ (b_{20} + b_{21} \cdot U + b_{22} \cdot U^2 + b_{23} \cdot U^3) \cdot IC^2 + (b_{30} + b_{31} \cdot U + b_{32} \cdot U^2 + b_{33} \cdot U^3) \cdot IC^3$$

onde:

b_{00} , b_{01} , b_{02} , b_{03} , b_{10} , b_{11} , b_{12} , b_{13} , b_{20} , b_{21} , b_{22} , b_{23} , b_{30} , b_{31} , b_{32} e b_{33} são constantes do modelo;

D - densidade do solo [kg/dm^3];

U - umidade do solo [%]; e,

IC - índice de cone [kgf/cm^2].

Uma simplificação do modelo proposto é dada por:

$$D = (a_0 + a_1 \cdot U + a_2 \cdot U^2) \cdot IC + (b_0 + b_1 \cdot U + b_2 \cdot U^2)$$

onde:

a_0 , a_1 , a_2 , b_0 , b_1 e b_2 são constantes do modelo;

D - densidade do solo [kg/dm^3];

U - umidade do solo [%]; e,

IC - índice de cone [kgf/cm^2].

Para construir os modelos propostos, nas profundidades P_1 , P_2 , P_3 , P_4 e P_5 , foram separados, por sorteio, para cada uma das 7 velocidade estudadas, 50 amostras de solo do total de 60 amostras obtidas em cada velocidade (20 tratamentos de solo com 3 repetições). As outras 10 amostras são utilizadas na análise estatística para se realizar a validação dos modelos obtidos.

O modelo da profundidade denominada PT reúne 250 amostras (correspondentes a 50 amostras em 5 profundidades nas profundidades P_1 a P_5), para validação são utilizadas 50 amostras (10 amostras em 5 profundidades).

4.2.12. Análise estatística

Mediante os modelos matemáticos ajustados para estimarem a densidade do solo em função do I.C. e da umidade do solo, calcula-se, para as profundidades P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 , e PT, a densidade do solo, utilizando-se as 10 amostras separadas anteriormente em cada uma das 7 velocidades estudadas. Efetuando as médias das densidades calculadas P_1 , P_2 , P_3 , P_4 e P_5 obtém-se a densidade denominada P_m .

Com os dados testemunha de densidade e os calculados pelos modelos, realiza-se um análise estatística em pares dos dados, utilizando o teste “t”, para determinar se as diferenças existentes foram estatisticamente significantes entre os dados testemunha e os calculados pelo modelo obtido.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Comportamento da compactação do solo submetido à diferentes umidades e energias de compactação.

O Anexo I mostra a densidade do solo obtida, quando este é submetido a diferentes energias de compactação em diferentes umidades.

Observa-se que a amostra de solo estudada, quando compactada na metodologia proposta no item 4.2.3., possui o mesmo comportamento descrito por MANTOVANI (1987), para um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa, ou seja quanto maior a energia de compactação, menor a umidade do solo necessária para se obter a máxima densidade em um mesmo nível de energia. Os gráficos das Figs. 16 e 17 ilustram este fenômeno. Na energia de 144 golpes (4517 kJ/m^3) a umidade ótima para compactação é próxima à umidade de ponto de murcha permanente (16,35 %), enquanto que na energia de 5 golpes (157 kJ/m^3) a umidade ótima para compactação é próxima a umidade de capacidade de campo (20,62 %).

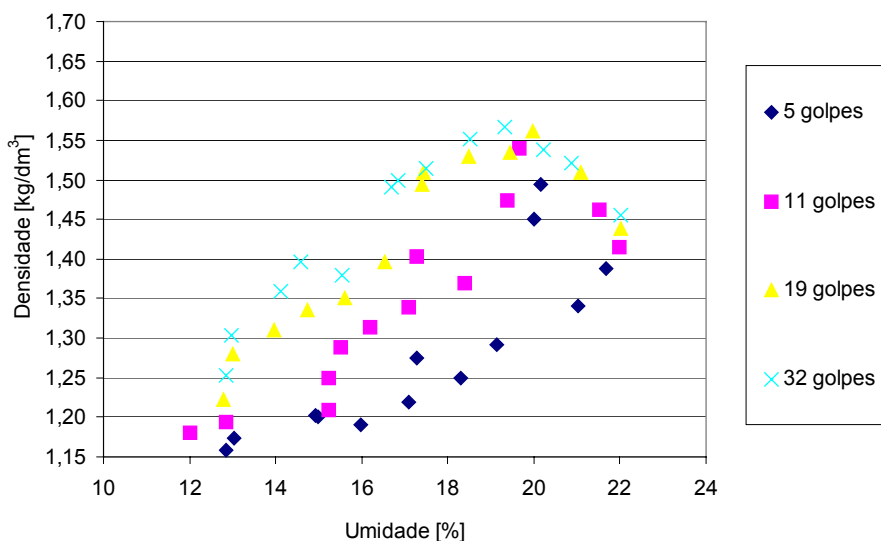


Figura 16 - Gráfico da densidade x umidade em cada energia de compactação.

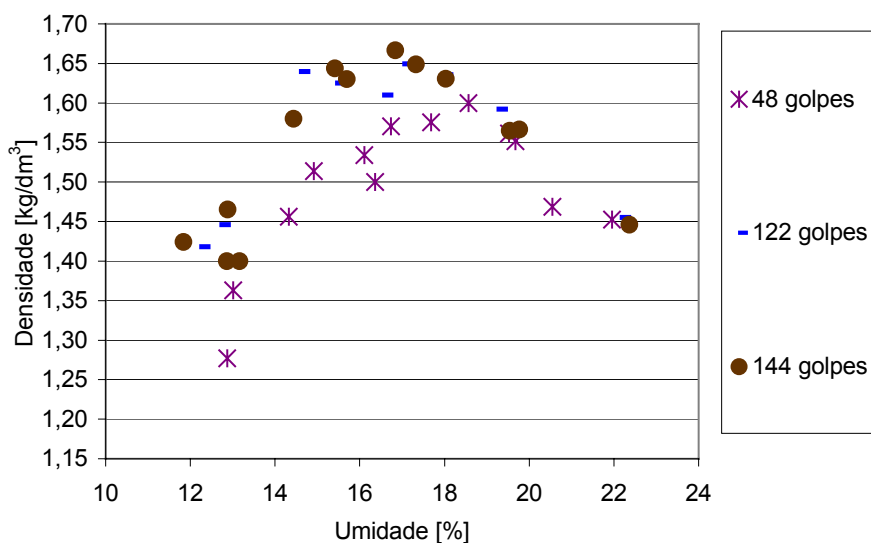


Figura 17 - Gráfico da densidade x umidade em cada energia de compactação.

5.2. Análise da porosidade do solo.

As Figuras 18, 19 e 20 mostram a variação da porosidade total, macro e micros poros com o aumento da densidade do solo, dados de origem no

Anexo II, nota-se que, para valores iguais de umidade do solo, quanto maior a energia de compactação maior é a densidade do solo obtida com a compactação.

Verifica-se que o aumento da densidade do solo é responsável pela diminuição da porosidade total do solo (soma de macro e micro poros), deste modo, analisando-se visualmente as Figuras 18, 19 e 20, nota-se que a microporosidade aumenta suavemente com o aumento da compactação do solo, enquanto a macroporosidade diminui de uma forma mais acentuada.

A densidade do solo de aproximadamente $1,19 \text{ kg/dm}^3$ caracteriza o ponto onde, a partir do qual, a macroporosidade passa a ser menor que a microporosidade.

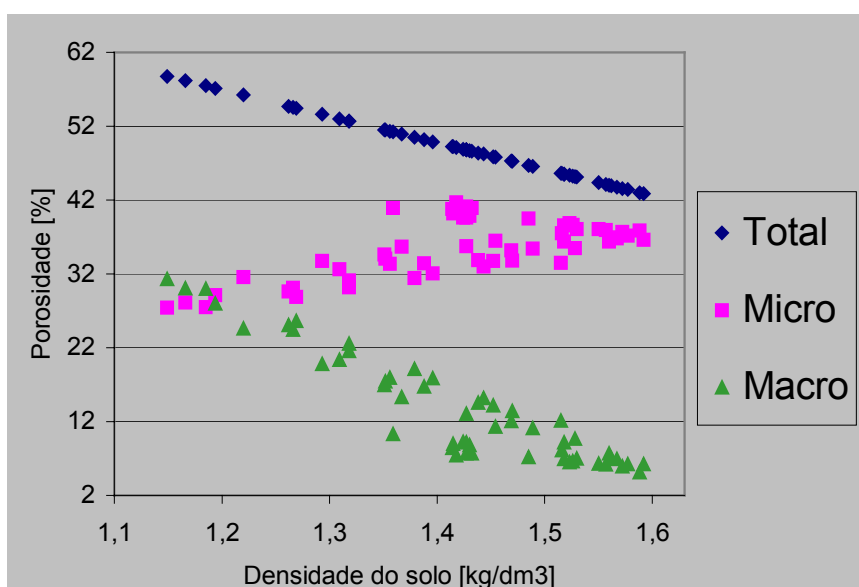


Figura 18 - Gráfico da macro porosidade, micro porosidade e porosidade total x densidade do solo. Gráfico com todos os dados contidos no anexo II (Curvas de 5 a 144 golpes).

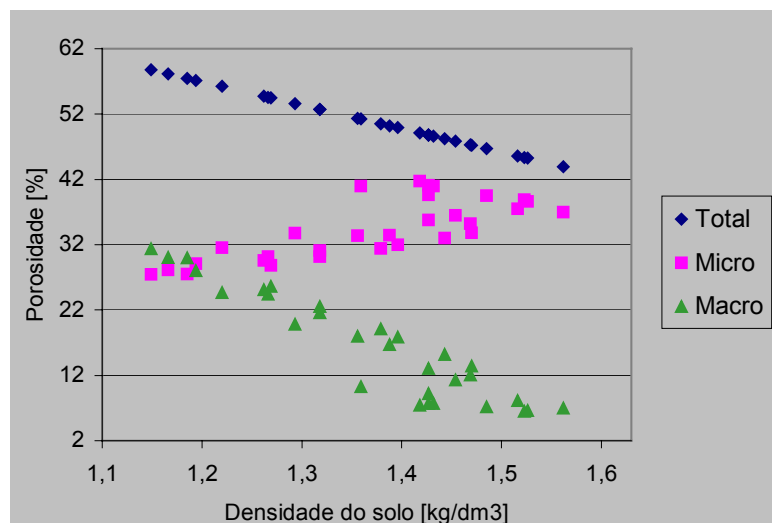


Figura 19 - Gráfico da macro porosidade, micro porosidade e porosidade total x densidade do solo. Gráfico com os dados contidos no anexo II (Curvas de 5 a 48 golpes).

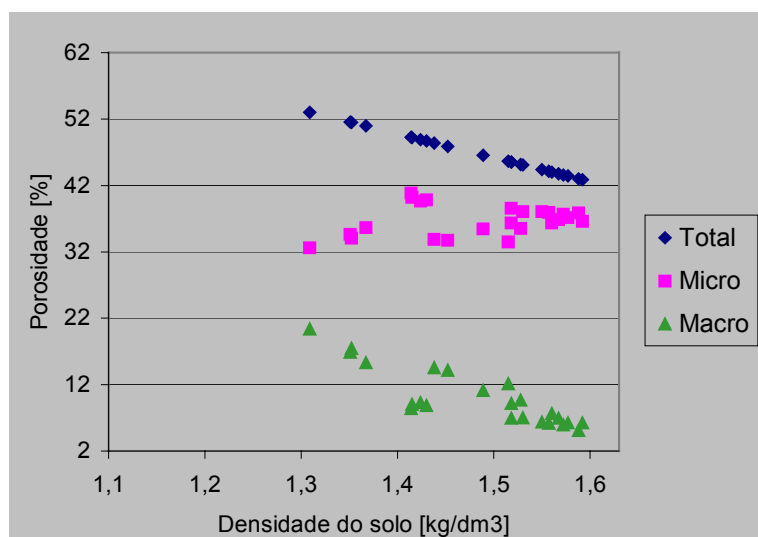


Figura 20 - Gráfico da macro porosidade, micro porosidade e porosidade total x densidade do solo. Gráfico com os dados contidos no anexo II (Curvas de 64 a 144 golpes).

A relação de macro e micro poros, que caracterizam a existência de uma compactação prejudicial às plantas, é variável e depende do tipo de solo, cultura e manejo de solo. Utilizando o mesmo critério adotado por NOVAK et al (1992), para caracterizar uma compactação do solo agronomicamente prejudicial

às plantas (10 % como o valor mínimo aceitável para a macroporosidade), observa-se nas Figuras 18, 19 e 20 que densidades do solo superiores a 1,48 kg/dm³ possuem macroporosidade inferiores a 10 %. Desta forma, a área sombreada da Tabela 3 mostra os tratamentos do solo nos quais as densidades do solo são superiores a 1,48 kg/dm³.

Tabela 3 – Médias de densidade e umidade do solo obtidas nos 20 tratamentos de compactação do solo.

		UMIDADES			
ENERGIAS		13 %	15 %	17 %	20 %
“S”	Densidade [kg/dm ³]	1,36	1,51	1,60	1,55
1506 kJ/m ³	Umidade [%]	13,01	14,92	18,57	19,67
“A”	Densidade [kg/dm ³]	1,30	1,39	1,60	1,54
1004 kJ/m ³	Umidade [%]	12,99	14,64	16,95	20,21
“M”	Densidade [kg/dm ³]	1,28	1,33	1,49	1,56
596 kJ/m ³	Umidade [%]	13,02	14,75	17,40	19,96
“I”	Densidade [kg/dm ³]	1,26	1,29	1,40	1,54
345 kJ/m ³	Umidade [%]	12,33	15,50	17,28	19,66
“B”	Densidade [kg/dm ³]	1,17	1,20	1,27	1,50
157 kJ/m ³	Umidade [%]	13,00	14,92	17,42	20,16

5.3. Particularidades da resistência do solo à penetração

O gráfico da Figura 21 mostra o valor do I.C. obtido em cada profundidade do cilindro de solo, no tratamento de compactação da amostra de solo A17. Neste gráfico encontram-se todas as velocidades de penetração juntas. O tratamento V100-cb foi realizado utilizando o cilindro “b”.

Nos gráficos das Figuras 22, 23 e 24 as velocidades de penetração foram separadas para melhorar a visualização do comportamento do I.C. Observando os referidos gráficos, e os gráficos obtidos nos demais 19 tratamentos de compactação do solo (gráficos não impressos na tese), nota-se que nas velocidades menores (5, 10, 20 e 30,48 mm/s) existe um aumento do I.C. até a uma faixa média de profundidade de 50 mm, e em seguida uma diminuição até a uma faixa média de profundidade de 80 mm (transiente); de 80 a 140 mm o I.C. se mantém quase constante. Nas velocidades maiores (45, 70 e 100 mm/s) o I.C. não apresenta o mesmo comportamento, ou seja o I.C. aumenta até a uma faixa média de profundidade de 50 mm e a partir deste ponto mantém-se quase constante, não apresentando picos na curva.

Segundo HENDRICK e GILL (1973), em elevadas velocidades de penetração (100 a 120 mm/s) existem indícios de que ocorra uma diminuição da zona de deformação plástica do solo, com redução do valor do I.C. No entanto, neste experimento, os gráficos das Figuras 22, 23 e 24 mostram que após a

profundidade de transiente do I.C., o aumento da velocidade de penetração do cone proporciona um aumento do valor do índice, porém seus valores para as velocidades altas são menores que os observados nos picos de transiente das velocidades baixas.

A região de transiente, na faixa de profundidade de 0 a 80 mm, ilustrada nas Figuras 21, 22, 23 e 24, provavelmente, está relacionada com os fenômenos descritos na revisão bibliográfica por GILL (1968), ou ainda, pode ser provocada por propriedades viscoelásticas do solo. O assunto requer maiores estudos para a sua compreensão.

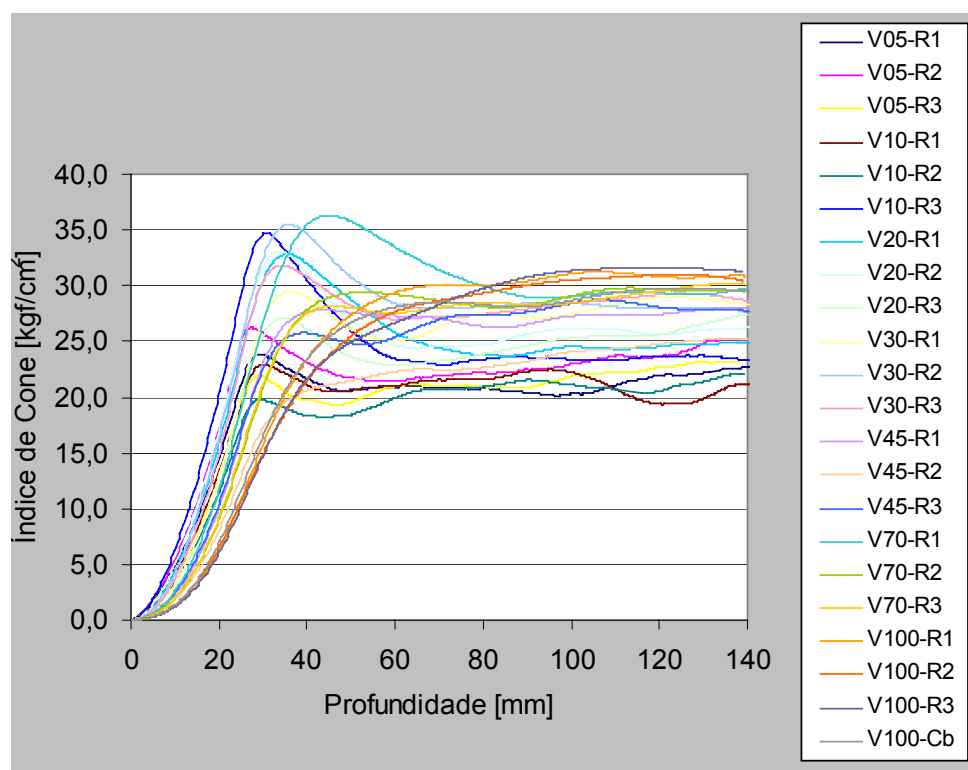


Figura 21 - Gráfico da aquisição de dados de I.C. com todas as velocidades, no tratamento de compactação “A” (alta) do solo e umidade de 17 %.

Devido ao comportamento sistemático dos Índices de Cone obtidos em todos os 20 tratamentos de solo, as análises foram realizadas nas profundidades compreendidas entre 85 e 134 mm. Com isto, evita-se a análise dos dados na região transiente que ocorreram na faixa de 0 a 80 mm de profundidade.

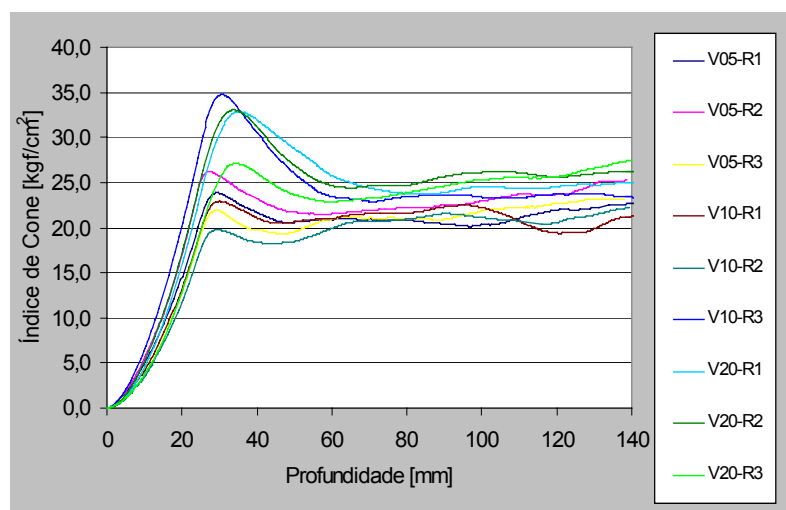


Figura 22 - Gráfico da aquisição de dados de I.C. nas velocidades de 5 a 20 mm/s, no tratamento de compactação “A” (alta) do solo e umidade de 17 %.

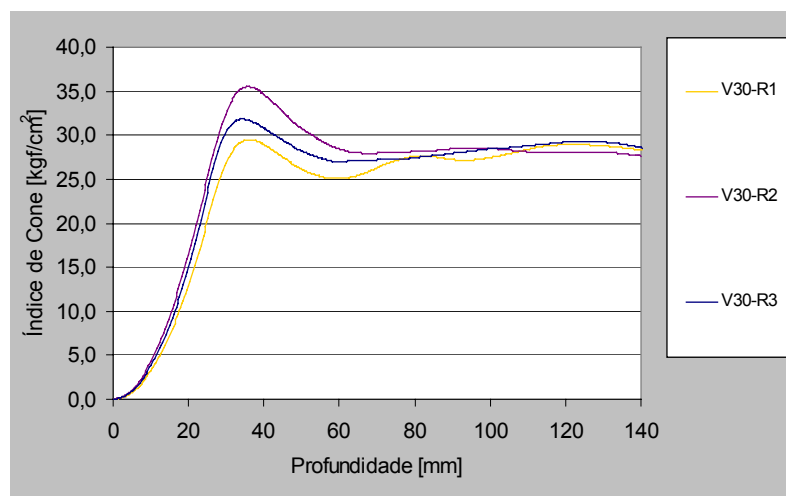


Figura 23 - Gráfico da aquisição de dados de I.C. na velocidade de 30,48 mm/s (padrão ASAE), no tratamento de compactação “A” (alta) do solo e umidade de 17 %.

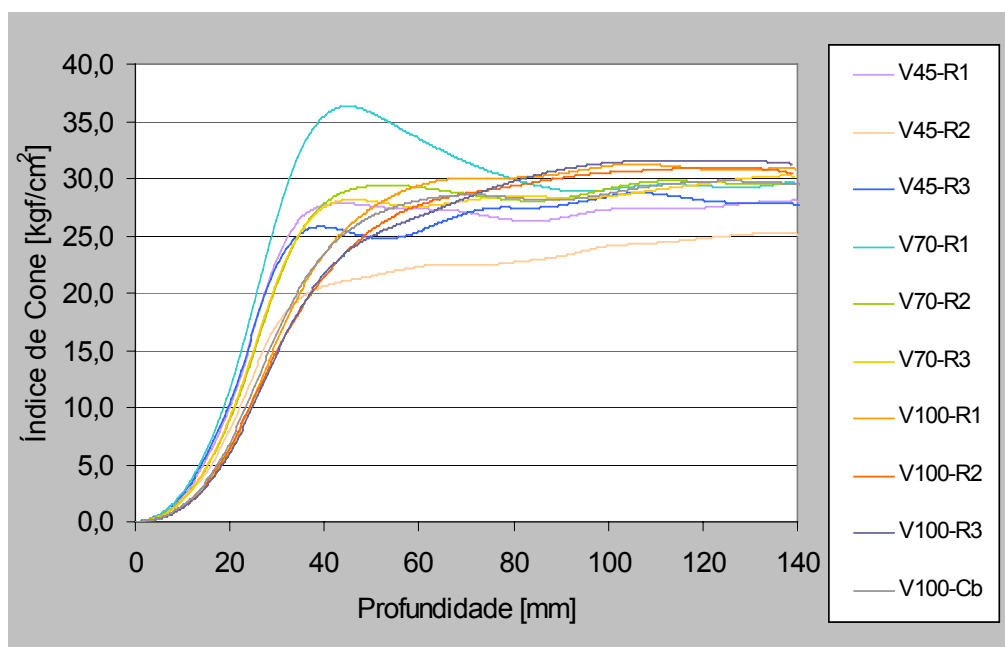


Figura 24 - Gráfico da aquisição de dados de I.C. nas velocidades de 45 a 100 mm/s, no tratamento de compactação “A” (alta) do solo e umidade de 17 %.

5.4. Variação do I.C. com o aumento da velocidade.

O Anexo III contém todos os tratamentos de compactação do solo, mostrando para cada um a variação do I.C. com o aumento da velocidade.

Utilizando os 9 modelos descritos no item 4.2.11., verifica-se que as regressões foram na sua grande maioria significativas ao nível de 1 % de probabilidade. Os coeficientes de determinação dos modelos (R^2) variaram de 0,07 (tratamento A13) a 0,887 (tratamento I17).

Os Anexos IV e V mostram os coeficientes de variação (C.V.s.) da velocidade de penetração em cada amostra de solo penetrada, o mínimo coeficiente de variação (0,06 %) ocorreu na amostra A1570 repetição 3, enquanto que o máximo coeficiente de variação (1,36 %) ocorreu na amostra M2005 repetição 1. A Tabela 4 mostra a média geral das velocidades obtidas no experimento e seus respectivos C.V.s., observa-se que o C.V. é menor nos tratamentos de velocidades maiores.

Tabela 4 – Média geral de velocidade e C.V. nos tratamentos de velocidade 5,00, 10,00, 20,00, 30,48, 45,00, 70,00 e 100,00 mm/s.

Média [mm/s]	5,08	9,96	20,09	30,49	45,13	70,15	100,31
C.V. [%]	1,66	1,24	1,01	0,77	0,56	0,55	0,42

5.5. Relações entre a densidade e a umidade do solo com o I.C.

O gráfico da Figura 25 explica o fenômeno descrito por LINS E SILVA (1994), onde, em experimento, sob condições de campo, e com auxílio de um penetrógrafo hidráulico e eletrônico, foi constatada uma interação altamente significativa dos fatores estudados. O autor concluiu que é necessário muito critério na utilização do I.C. para avaliar a compactação do solo, pois o I.C. apresentava valores iguais em diferentes condições de densidade do solo, ou o I.C. apresentava valores diferentes em condições semelhantes de densidade do

solo, segundo o autor isto ocorria pois a umidade interagiu, influenciando os resultados do I.C. e inviabilizando a validação de regressões lineares simples ou múltiplas dos dados.

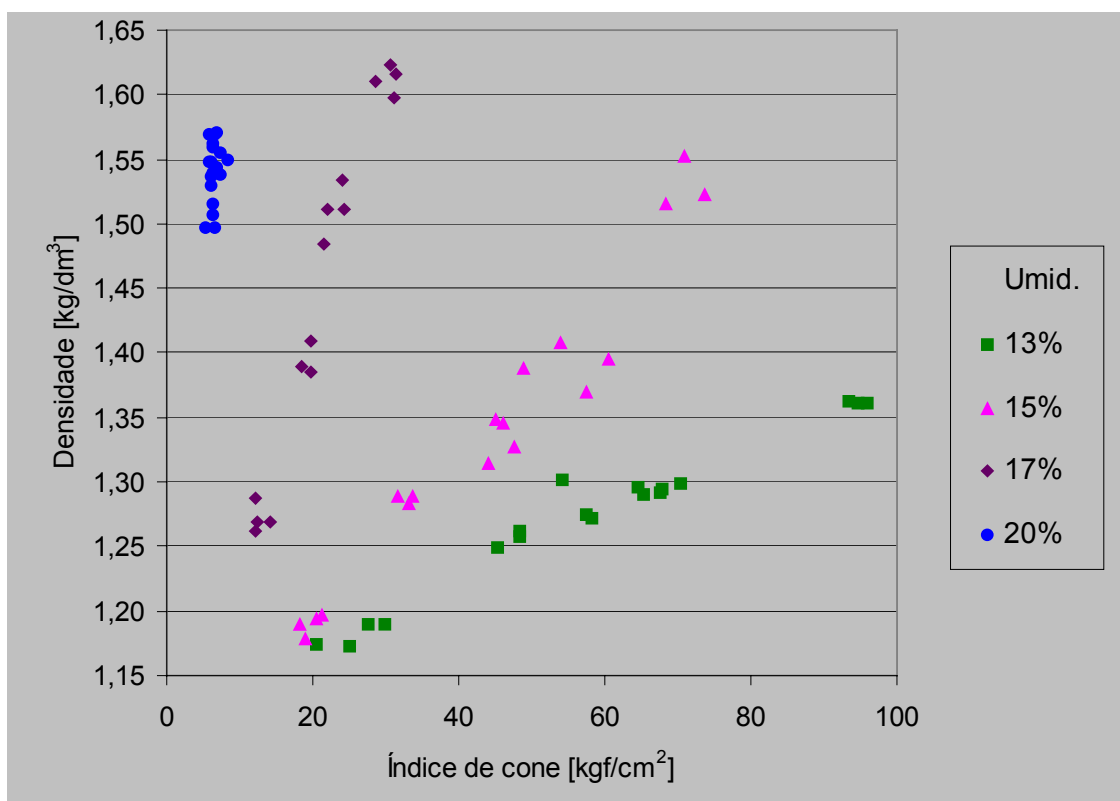


Figura 25 - Gráfico das relações entre densidade do solo e I.C. em diferentes umidades do solo (velocidade de 100 mm/s e profundidade P_2).

No gráfico da Figura 25 nota-se que o fenômeno revela um comportamento sistemático e bem definido, ou seja o aumento da umidade do solo faz com que uma variação menor do I.C. responda por uma faixa maior de variação da densidade do solo.

5.6. Modelos matemáticos para a compactação do solo.

Para descrever, de forma genérica, o comportamento apresentado no item anterior, foi realizada uma regressão múltipla para prever a densidade do solo com o uso do I.C. e a umidade do solo (modelo de regressão múltipla descrito no item 4.2.11.). Os dados utilizados para a regressão são os contidos no Anexo V, menos os dados separados, por sorteio, nos Anexos VII e VIII, que são utilizados para a validação dos modelos.

O Anexo VI mostra os valores das constantes que compõem os modelos das profundidades P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 e PT e seus respectivos coeficientes de determinação.

Nos coeficientes de determinação, resumidos na Tabela 5, verifica-se que os modelos obtidos nas velocidades de 5, 45, 70 e 100 mm/s possuem R^2 maiores do que 0,91, e os das velocidades 10, 20 e 30 mm/s R^2 entre 0,84 e 0,89. O modelo com o maior R^2 (0,9559) foi o determinado na velocidade de 5 mm/s e profundidade P_3 , já o de menor R^2 (0,84676) foi encontrado na velocidade de 20 mm/s e profundidade P_1 .

5.7. Análise estatística da validação dos modelos matemáticos que relacionam

I.C., umidade e densidade do solo.

Nos Anexos IV, VII e VIII estão os valores das densidades testemunhas e das calculadas utilizadas para a validação dos modelos, o Anexo IX contém a análise estatística para a validação dos referidos modelos.

Tabela 5 – Coeficientes de determinação dos modelos das profundidades P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 e PT nos tratamentos de velocidade 5,00, 10,00, 20,00, 30,48, 45,00, 70,00 e 100,00 mm/s.

VELOCIDADES	Coeficientes de determinação (R^2)					
	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Prof. PT
5 mm/s	0,92907	0,94108	0,9559	0,95469	0,94842	0,93982
10 mm/s	0,88752	0,87839	0,88443	0,88043	0,87973	0,87716
20 mm/s	0,84676	0,85272	0,85541	0,85028	0,85439	0,84974
30 mm/s	0,86693	0,85967	0,86781	0,87289	0,87429	0,86367
45 mm/s	0,92011	0,91905	0,92015	0,92014	0,91783	0,91528
70 mm/s	0,94387	0,94510	0,94202	0,93615	0,93248	0,93548
100 mm/s	0,91385	0,91349	0,91403	0,91314	0,91227	0,91145

A Tabela 6 mostra as correlações entre as densidades testadas. A máxima correlação verificada (0,978) foi no par de densidades Testemunha- P_2 na velocidade de 10 mm/s, e a menor correlação (0,762) foi no par Testemunha- P_5 na velocidade de 20 mm/s. Todos os 7 pares de densidade testados em cada velocidade mostraram correlações significativas ao nível de 1 % de probabilidade, exceto o par Testemunha- P_5 na velocidade de 20 mm/s que apresentou significância ao nível de 5 %.

O teste de hipótese para verificar a significância da diferença entre as médias das densidades testemunhas e calculadas, ao nível de 95 % de

probabilidade (demonstrado no Anexo IX), constatou-se que somente os pares Testemunha-PT na velocidade de 45 mm/s e Testemunha-P₄ na velocidade de 70 mm/s apresentaram diferenças entre as médias, nos demais pares em todas as velocidades a hipótese H_0 (não existe diferença significativa entre as médias) foi aceita, ou seja os modelos foram validados pelas amostras testemunhas.

Tabela 6 – Correlações entre a densidade testemunha e calculada, nas profundidades P₁, P₂, P₃, P₄, P₅, P_m e PT nos tratamentos de velocidade 5, 10, 20, 30, 45, 70 e 100 mm/s.

Profundida- des	Velocidades							
	5 mm/s	10 mm/s	20 mm/s	30 mm/s	45 mm/s	70 mm/s	100 mm/s	Cil. “b” 100 mm/s
P ₁	0,923	0,972	0,843	0,963	0,949	0,953	0,960	0,967
P ₂	0,935	0,978	0,835	0,951	0,963	0,956	0,965	0,968
P ₃	0,960	0,959	0,823	0,946	0,968	0,943	0,970	0,969
P ₄	0,952	0,940	0,807	0,942	0,955	0,963	0,974	0,968
P ₅	0,953	0,938	0,762	0,941	0,949	0,948	0,975	0,967
P _m	0,949	0,968	0,818	0,951	0,958	0,956	0,970	0,971
PT	0,932	0,957	0,817	0,947	0,954	0,930	0,968	0,968

A Tabela 7 mostra a significância bilateral do teste de hipóteses, nota-se que os modelos obtidos nas velocidades de 5 e 100 mm/s são os mais significativos bilateralmente, os gráficos das Figuras 26 a 33 fazem uma comparação entre as densidades do solo medida e calculada, observa-se que nas velocidades de 5 e 100 mm/s a distribuição dos pares de densidade medida e calculada possuem uma simetria maior na distribuição dos pontos em torno da

reta de 45 graus. Os modelos obtidos na velocidade de 100 mm/s foram validados com densidades testemunha obtidas nos cilindros tipo “a” e “b”, observa-se que os resultados na análise estatística realizada com os dados do cilindro tipo “b” foram bastante semelhantes aos resultados obtidos com o tipo “a”, evidenciando a não existência de diferenças significativas nos dados obtidos com o uso dos diferentes cilindros.

Tabela 7 – Significância bilateral do teste de hipóteses das diferenças das médias entre a densidade testemunha e calculada, nas profundidades P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 , P_m e PT nos tratamentos de velocidade 5, 10, 20, 30, 45, 70 e 100 mm/s.

Profundida- des	Velocidades							
	5 mm/s	10 mm/s	20 mm/s	30 mm/s	45 mm/s	70 mm/s	100 mm/s	Cil. “b” 100 mm/s
P_1	0,635	0,147	0,703	0,368	0,202	0,367	0,684	0,492
P_2	0,954	0,116	0,651	0,368	0,127	0,140	0,946	0,433
P_3	0,793	0,262	0,548	0,729	0,066	0,270	0,849	0,724
P_4	0,570	0,591	0,580	0,518	0,060	0,043	0,703	0,985
P_5	0,669	0,837	0,648	0,902	0,063	0,283	0,554	0,940
P_m	0,906	0,317	0,620	0,560	0,091	0,167	0,917	0,715
PT	0,498	0,059	0,179	0,141	0,000	0,146	0,925	0,598
Média	0,718	0,333	0,561	0,512	0,087	0,202	0,797	0,698

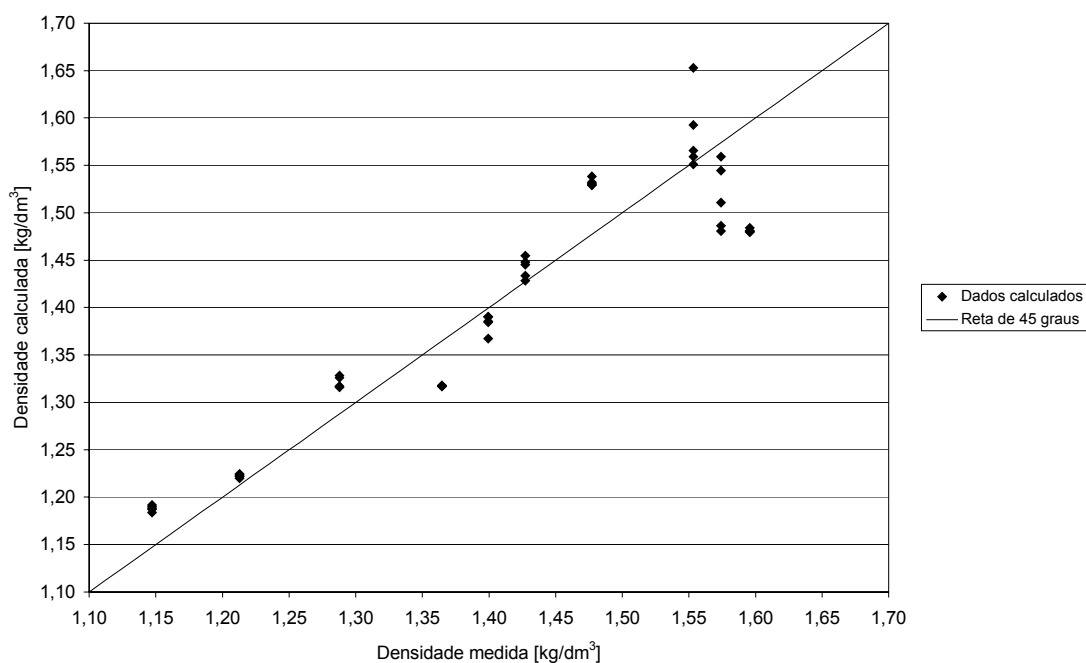


Figura 26 - Gráfico Comparativo entre as densidades do solo medida e calculada na velocidade de 5 mm/s e profundidade PT.

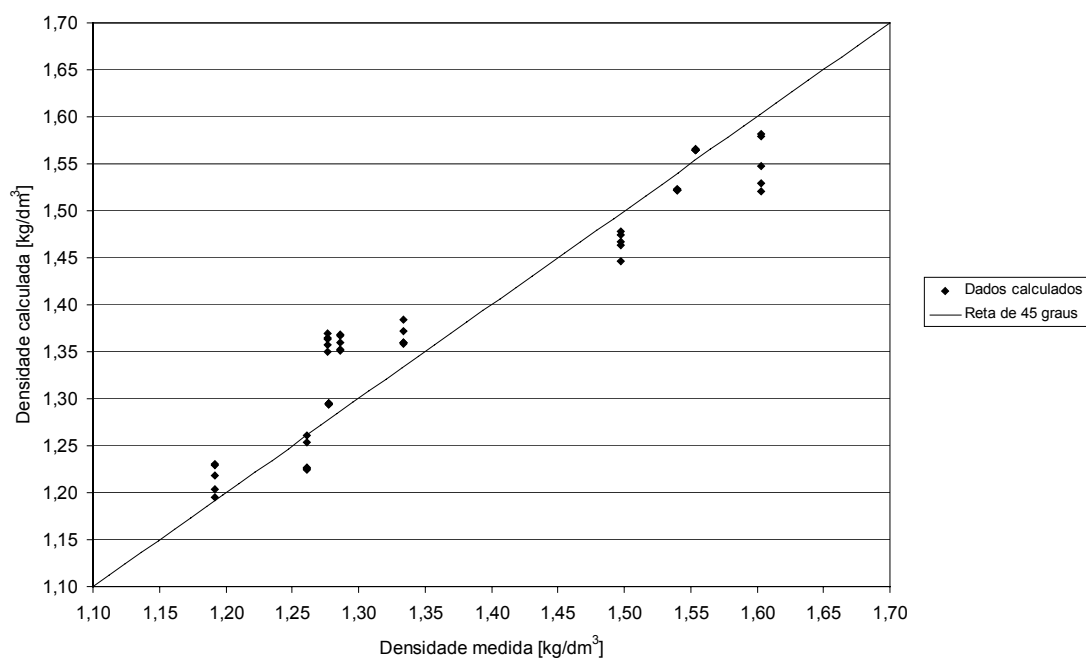


Figura 27 - Gráfico Comparativo entre as densidades do solo medida e calculada na velocidade de 10 mm/s e profundidade PT.

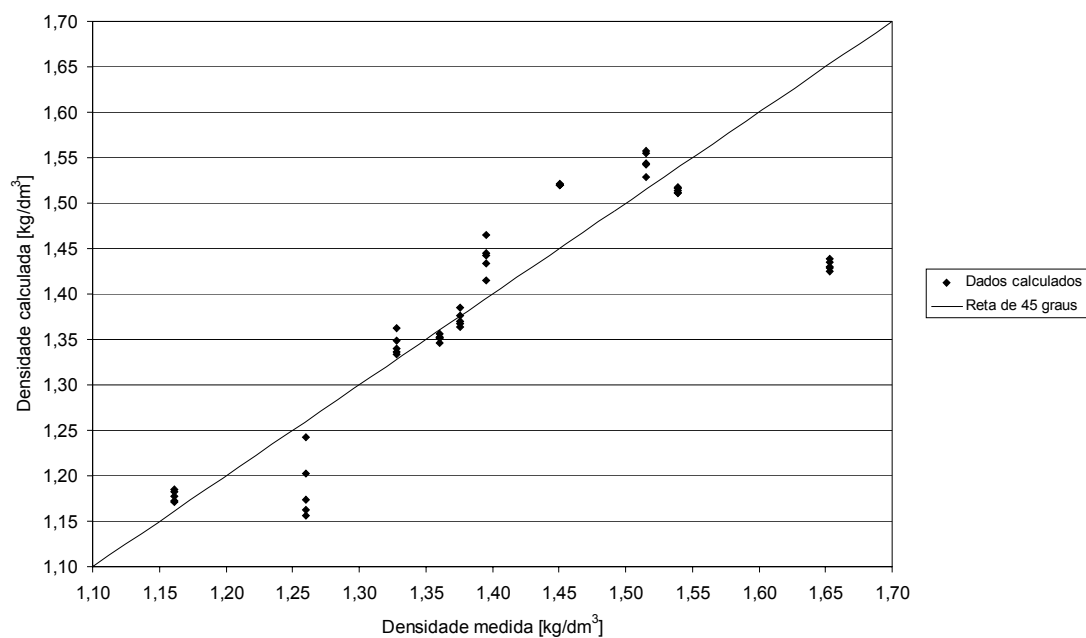


Figura 28 - Gráfico Comparativo entre as densidades do solo medida e calculada na velocidade de 20 mm/s e profundidade PT.

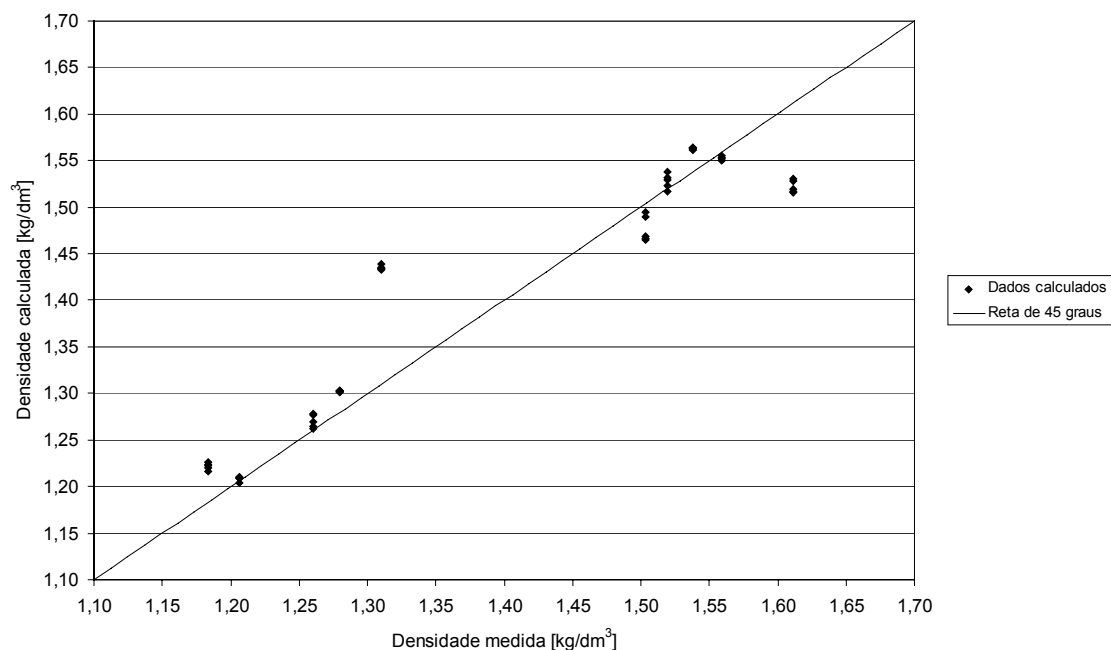


Figura 29 - Gráfico Comparativo entre as densidades do solo medida e calculada na velocidade de 30,48 mm/s e profundidade PT.

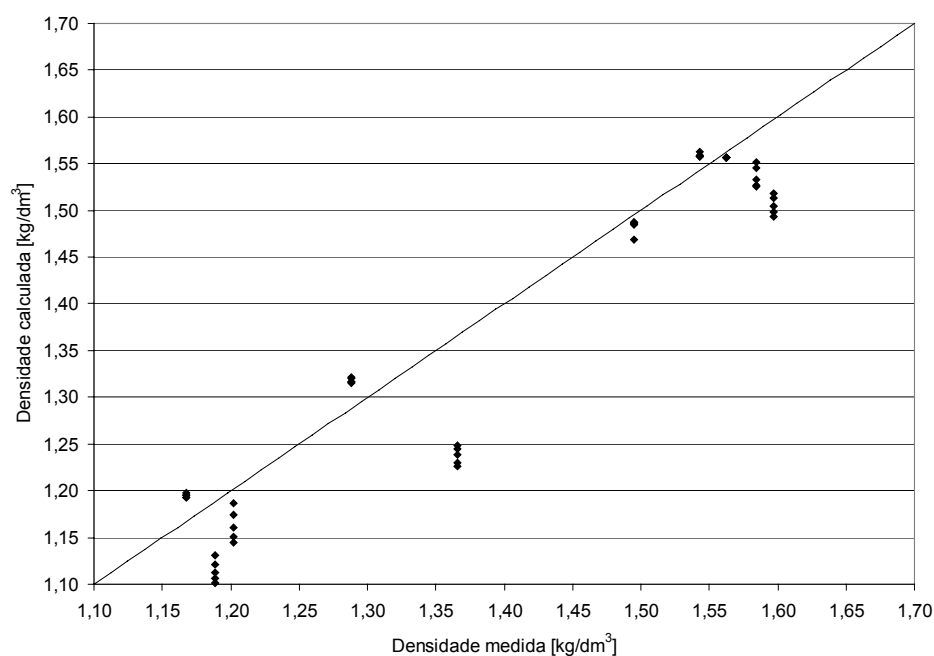


Figura 30 - Gráfico Comparativo entre as densidades do solo medida e calculada na velocidade de 45 mm/s e profundidade PT.

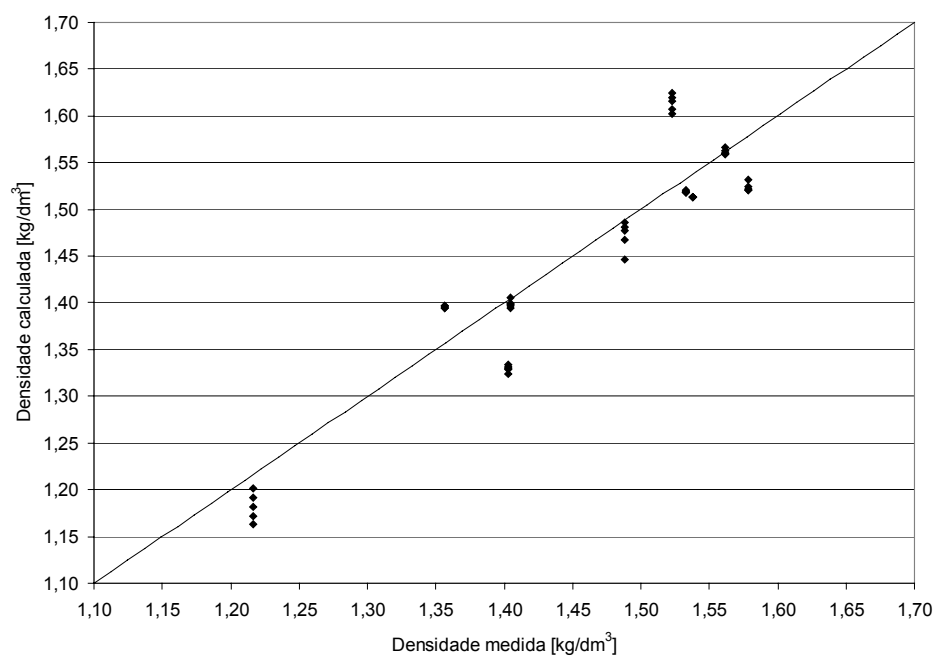


Figura 31 - Gráfico Comparativo entre as densidades do solo medida e calculada na velocidade de 70 mm/s e profundidade PT.

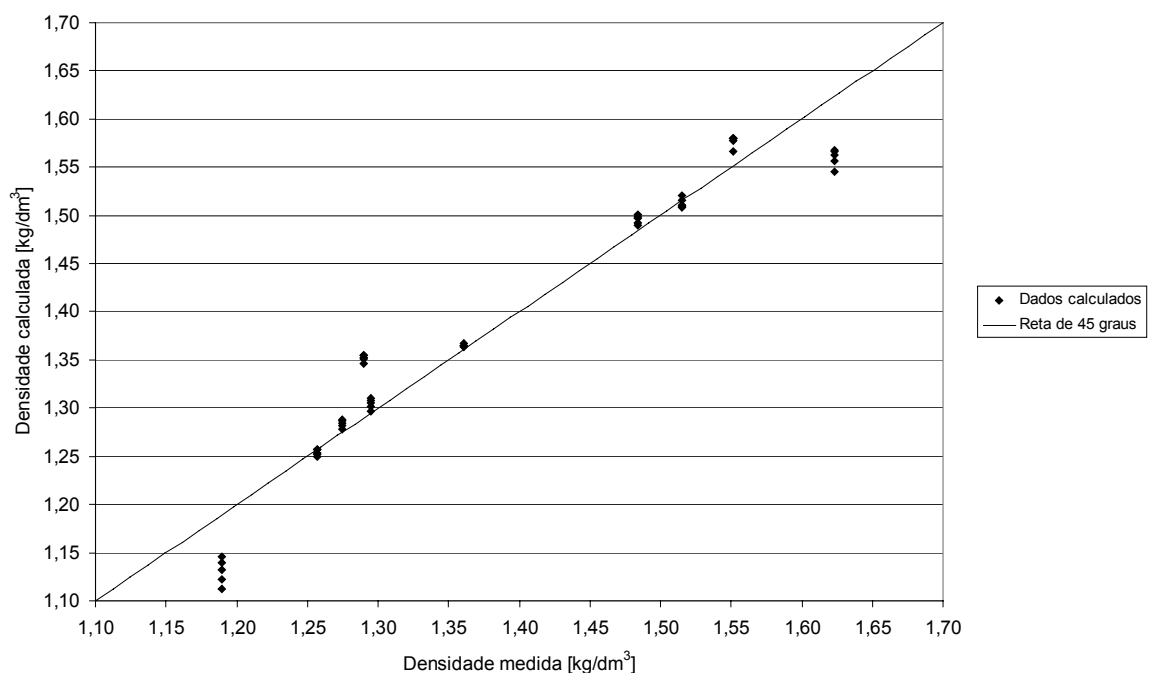


Figura 32 - Gráfico Comparativo entre as densidades do solo medida e calculada na velocidade de 100 mm/s no cilindro tipo "a" e profundidade PT.

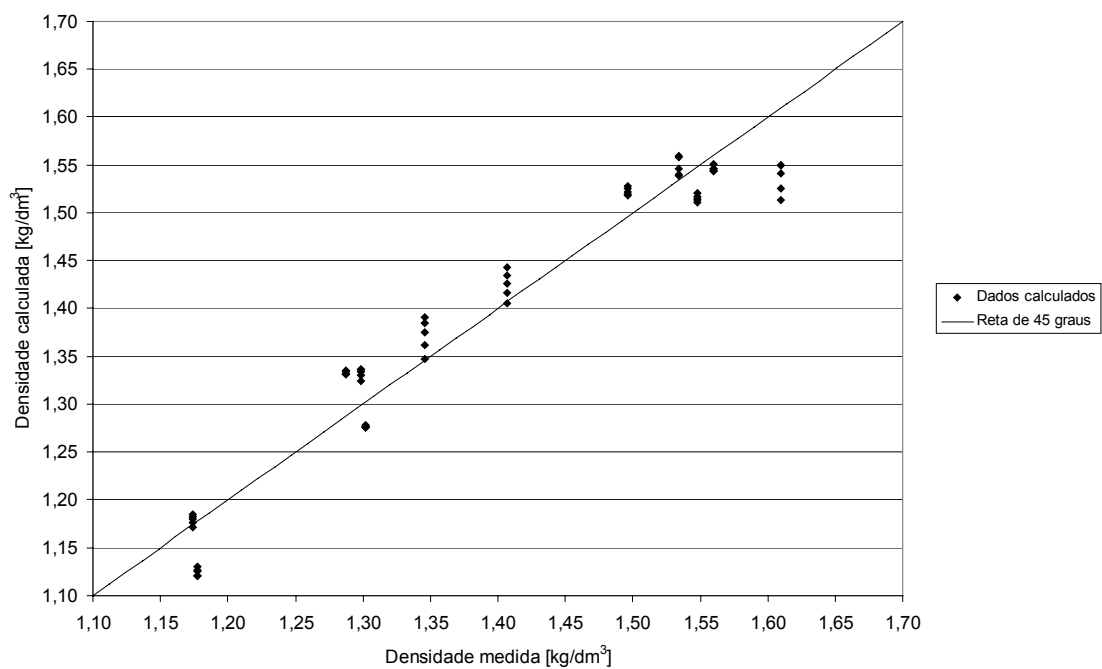


Figura 33- Gráfico Comparativo entre as densidades do solo medida e calculada na velocidade de 100 mm/s no cilindro tipo "b" e profundidade PT.

5.8. Modelos, simplificados, para a compactação do solo.

Simplificando os modelos matemáticos, para estimar a densidade da amostra compactada de solo utilizando o índice de cone, é possível obter modelos com coeficientes de determinação que variam de 0,79 a 0,86 (Tabela 8). A simplificação dos modelos reduz o R^2 da regressão, porém facilita a aplicação dos modelos, que passam a ter apenas 6 constantes em relação ao original que possui 16.

Tabela 8 – Coeficientes de determinação dos modelos simplificados para as velocidades de penetração de 5,00, 10,00, 20,00, 30,48, 45,00, 70,00 e 100,00 mm/s.

Velocidades [mm/s]	5	10	20	30	45	70	100
R^2	,84	,82	,81	,79	,86	,84	,83

Os modelos simplificados possuem a forma da equação, descrita no item 4.2.11., dada por:

$$D = (a_0 + a_1 \cdot U + a_2 \cdot U^2) \cdot IC + (b_0 + b_1 \cdot U + b_2 \cdot U^2)$$

onde:

a_0 , a_1 , a_2 , b_0 , b_1 e b_2 são constantes do modelo;

D densidade do solo [kg/dm^3];

U umidade do solo [%]; e,

IC índice de cone [kgf/cm^2].

A Tabela 9 mostra as constantes do modelo simplificado em cada velocidade estudada, estes modelos referem-se as regressões realizadas com todas as profundidades (PT).

Tabela 9 - Constantes do modelo simplificado para as velocidades de 5,00, 10,00, 20,00, 30,48, 45,00, 70,00 e 100,00 mm/s.

Velocidades [mm/s]	a ₀	a ₁	a ₂
05	,069980511	-,011112517	,000463464
10	,081813625	-,012428627	,000492235
20	,084421062	-,013324920	,000546665
30	,113879963	-,017111925	,000661958
45	,074847545	-,012002689	,000497949
70	,063577928	-,010397860	,000441762
100	,077658886	-,012282433	,000503091
Velocidades [mm/s]	b ₀	b ₁	b ₂
05	2,515102976	-,215089003	,007903693
10	1,969942888	-,141697291	,005609842
20	2,907452382	-,261444433	,009167725
30	2,131360912	-,156940408	,005867713
45	3,422640191	-,316314129	,010599941
70	3,178731662	-,286776338	,009733253
100	2,848797717	-,245293483	,008498920

O modelo para estimar a densidade da amostra de solo compactada, com o I.C. na velocidade de penetração de 100 mm/s, é dado por:

$$D = (0,077658886 - 0,012282433 \cdot U + 0,000503091 \cdot U^2) \cdot IC + (2,848797717 - 0,245293483 \cdot U + 0,008498920 \cdot U^2)$$

onde:

D densidade do solo [kg/dm³];

U umidade do solo [%]; e,

IC índice de cone [kgf/cm²].

6. CONCLUSÕES

Para as condições de solo estudado (Latosolo Vermelho Escuro textura argilo-arenosa, com 45% de argila, 9% de silte e 46% de areia, da região de cerrados do Centro-Oeste brasileiro, região Sul de MT); com auxílio de um Penetrômetro Hidráulico e Eletrônico para uso em campo e laboratório; e utilizando equipamentos de compactação, desenvolvidos especialmente para este trabalho; pode se concluir que:

- A metodologia empregada para compactar as amostras de solo permite, com baixos coeficientes de variação, a obtenção de diferentes condições de compactação;
- O controle de velocidade do PHE proporciona coeficientes de variação de 1,66 % na velocidade de 5 mm/s e 0,42 % na de 100 mm/s. Existe uma diminuição dos coeficientes de variação com o aumento da velocidade;

- Na penetração do cone na amostra de solo compactada existe uma região de transiente que eleva o valor do índice de cone (compreendida entre 0 e 80 mm na altura do cilindro), nas velocidades superiores a 45 mm/s este fenômeno não é visualizado. Fora da referida região de transiente, quanto maior a velocidade de penetração do cone maior é o valor do índice de cone;
- Nas umidades mais elevadas do solo, uma pequena variação do índice de cone responde por uma faixa maior de variação da densidade do solo, e vice-versa para umidades menores. Para resumir este fenômeno foram encontrados modelos matemáticos que mostram R^2 superiores a 0,84. Os melhores R^2 referem-se aos modelos das velocidades de 5, 45, 70 e 100 mm/s (R^2 superiores a 0,91 e R^2 máximo de 0,96);
- A validação dos modelos na velocidade de 100 mm/s, utilizando dados de índice de cone obtidos no cilindro tipo “b”, mostra que os dados obtidos com os cilindros tipo “a” e “b” são qualitativamente semelhantes;
- Das velocidades estudadas a mais apropriada para estimar a densidade da amostra de solo, com o índice de cone e a umidade, é a velocidade de 100 mm/s, nesta velocidade os modelos encontrados apresentaram os valores de correlação e significância bilateral mais elevados do que nas demais; o modelo simplificado para a velocidade de 100 mm/s possui R^2 de 0,83, é dado por:

$$D = (0,077658886 - 0,012282433 * U + 0,000503091 * U^2) * IC + \\ (2,848797717 - 0,245293483 * U + 0,008498920 * U^2)$$

onde:

D densidade do solo [kg/dm³];

U umidade do solo [%]; e,

IC índice de cone [kgf/cm²].

7. ANEXOS

Anexo I – Densidade do solo, umidade e energia de compactação.

5 golpes (157 kJ/m ³)		11 golpes (345 kJ/m ³)		19 golpes (596 kJ/m ³)		32 golpes (1004 kJ/m ³)	
Umid. [%]	Densidade [kg/dm ³]	Umid. [%]	Densidade [kg/dm ³]	Umid. [%]	Densidade [kg/dm ³]	Umid. [%]	Densidade [kg/dm ³]
12,86	1,16	12,01	1,18	12,78	1,22	12,84	1,25
13,05	1,17	12,84	1,19	13,01	1,28	12,98	1,30
14,92	1,20	15,23	1,25	13,95	1,31	14,12	1,36
15,00	1,20	15,24	1,21	14,75	1,34	14,59	1,40
15,99	1,19	15,50	1,29	15,61	1,35	15,54	1,38
17,10	1,22	16,18	1,31	16,53	1,40	16,68	1,49
17,28	1,28	17,10	1,34	17,41	1,50	16,86	1,50
18,30	1,25	17,28	1,40	17,42	1,51	17,49	1,51
19,14	1,29	18,40	1,37	18,50	1,53	18,51	1,55
20,00	1,45	19,39	1,47	19,46	1,53	19,31	1,57
20,15	1,50	19,66	1,54	19,96	1,56	20,21	1,54
21,03	1,34	21,52	1,46	21,10	1,51	20,88	1,52
21,66	1,39	22,00	1,42	22,01	1,44	22,01	1,46

cont...

Anexo I – Densidade do solo, umidade e energia de compactação (continuação)

48 golpes (1506 kJ/m ³)		122 golpes (3827 kJ/m ³)		144 golpes (4517 kJ/m ³)	
Umid. [%]	Densidade [kg/dm ³]	Umid. [%]	Densidade [kg/dm ³]	Umid. [%]	Densidade [kg/dm ³]
12,87	1,28	12,23	1,42	11,84	1,42
13,01	1,36	12,71	1,45	12,87	1,40
14,33	1,46	12,92	1,40	12,88	1,47
14,92	1,51	14,59	1,64	13,16	1,40
16,11	1,53	15,44	1,63	14,44	1,58
16,36	1,50	16,55	1,61	15,41	1,64
16,73	1,57	17,02	1,65	15,70	1,63
17,69	1,58	17,19	1,65	16,84	1,67
18,57	1,60	17,96	1,64	17,33	1,65
19,53	1,56	19,25	1,59	18,04	1,63
19,67	1,55	19,59	1,56	19,54	1,57
20,55	1,47	19,70	1,56	19,76	1,57
21,95	1,45	22,16	1,46	22,37	1,45

Anexo II - Energia de compactação, umidade, densidade e respectivas macro e micro porosidades.

Energia	Umidade [%]	Densid. [kg/dm ³]	Porosidade		
			Macro [%]	Micro [%]	Total [%]
157 kJ/m ³ (5 golpes)	13,72	1,15	31,34	27,43	58,77
	16,17	1,17	30,04	28,12	58,16
	17,52	1,19	29,98	27,50	57,48
	18,02	1,27	25,59	28,87	54,46
	19,33	1,36	17,97	33,37	51,34
	22,77	1,36	10,28	40,95	51,23
345 kJ/m ³ (11 golpes)	13,39	1,19	28,03	29,12	57,15
	16,34	1,26	25,09	29,63	54,71
	17,30	1,32	22,55	30,16	52,70
	17,96	1,40	17,87	32,03	49,91
	19,53	1,45	11,31	36,51	47,82
	22,77	1,43	7,67	40,95	48,61
596 kJ/m ³ (19 golpes)	13,75	1,22	24,65	31,57	56,22
	16,43	1,32	21,58	31,12	52,70
	17,32	1,38	19,11	31,41	50,52
	17,96	1,47	12,07	35,21	47,29
	19,69	1,49	7,20	39,51	46,71
	22,44	1,42	7,42	41,70	49,12
1004 kJ/m ³ (32 golpes)	13,64	1,27	24,43	30,14	54,57
	16,49	1,39	16,74	33,45	50,19
	17,28	1,43	13,03	35,76	48,79
	18,06	1,52	8,12	37,48	45,60
	19,25	1,53	6,63	38,61	45,24
	22,52	1,43	7,67	41,12	48,79
1506 kJ/m ³ (48 golpes)	13,48	1,29	19,83	33,77	53,60
	16,24	1,44	15,19	33,03	48,22
	17,42	1,47	13,41	33,84	47,25
	18,03	1,56	6,98	36,97	43,95
	19,38	1,52	6,48	38,86	45,35
	22,44	1,43	9,17	39,62	48,79

cont...

Anexo II - Energia de compactação, umidade, densidade e respectivas macro e micro porosidades (continuação)

Energia	Umidade [%]	Densid. [kg/dm ³]	Porosidade		
			Macro [%]	Micro [%]	Total [%]
2008 kJ/m ³ (64 golpes)	13,76	1,31	20,40	32,63	53,03
	16,35	1,44	14,54	33,85	48,40
	17,39	1,49	11,13	35,44	46,57
	18,12	1,57	5,92	37,67	43,59
	19,27	1,52	6,95	38,58	45,53
	22,90	1,42	9,01	40,21	49,22
2698 kJ/m ³ (86 golpes)	13,47	1,35	16,91	34,61	51,52
	15,83	1,45	14,18	33,72	47,90
	17,11	1,52	9,18	36,35	45,53
	18,06	1,58	6,22	37,19	43,41
	19,57	1,53	7,03	38,07	45,10
	22,68	1,42	9,26	39,64	48,90
3827 kJ/m ³ (122 golpes)	13,34	1,35	17,44	34,04	51,48
	15,66	1,52	12,12	33,52	45,64
	17,22	1,56	7,67	36,35	44,02
	18,00	1,59	5,14	37,88	43,02
	19,16	1,56	6,18	37,95	44,13
	22,24	1,43	8,84	39,85	48,69
4517 kJ/m ³ (144 golpes)	13,51	1,37	15,29	35,66	50,95
	15,72	1,53	9,68	35,49	45,17
	16,91	1,57	6,95	36,82	43,77
	17,92	1,59	6,25	36,62	42,87
	18,92	1,55	6,34	38,04	44,38
	22,53	1,41	8,42	40,84	49,26

Anexo IV – Dados de densidades do solo, umidade e I.C. do cilindro “b” na velocidade de penetração de 100 mm/s nas profundidades P1 a P5.

Nome	Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd [mm/s]	C.V.
A13R4	12,52	1,30	100,73	68,366	100,31	70,314	100,53	71,524	100,44	72,135	100,30	72,251	100,46	0,18%
A15R4	14,70	1,41	100,01	52,276	100,19	53,969	99,66	55,569	99,79	57,025	99,70	58,722	99,87	0,23%
A17R4	16,92	1,61	100,80	28,166	100,93	28,694	100,43	29,378	100,35	29,722	100,33	29,730	100,57	0,28%
A20R4	20,18	1,55	100,40	6,036	100,54	5,877	100,05	5,794	100,21	5,742	100,12	5,664	100,27	0,20%
M13R4	12,90	1,30	100,86	54,310	100,91	54,265	100,31	54,257	100,37	54,869	100,33	55,283	100,56	0,30%
M15R4	14,66	1,35	100,04	44,171	100,04	46,151	99,55	48,299	99,37	49,816	99,46	50,783	99,69	0,32%
M17R4	17,47	1,53	100,52	24,142	100,82	24,070	100,55	23,608	100,49	23,304	100,49	23,349	100,57	0,14%
M20R4	19,96	1,56	100,50	6,455	100,46	6,230	99,92	6,095	100,08	6,091	100,08	6,185	100,21	0,26%
B13R4	12,81	1,17	100,80	19,590	100,89	20,557	100,43	21,469	100,72	22,212	100,81	22,716	100,73	0,18%
B15R4	14,53	1,18	99,92	19,632	99,85	19,044	99,30	19,062	99,37	19,503	99,28	19,951	99,54	0,32%
B17R4	17,31	1,29	100,47	12,246	100,30	12,227	100,01	12,303	100,19	12,635	100,11	12,893	100,22	0,18%
B20R4	20,06	1,50	100,43	5,249	100,58	5,294	100,12	5,447	100,31	5,633	100,40	5,767	100,37	0,17%
													Máx.	0,32%
													Mín.	0,14%

Anexo V – Umidade, densidade do solo, I.C. e Velocidades nos tratamentos.

Trat. "S" com 48 golpes (1506 kJ/m ³), umidade de 13 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
13,11	1,36	5,15	77,188	5,16	76,329	5,16	75,506	5,17	76,437	5,13	78,297	5,15	0,28%
13,19	1,35	5,15	77,388	5,14	77,394	5,13	76,795	5,16	78,314	5,12	79,621	5,14	0,29%
13,14	1,37	5,13	82,033	5,14	81,073	5,12	81,281	5,15	80,383	5,11	79,408	5,13	0,28%
13,16	1,36	9,94	82,145	9,92	80,210	9,88	80,258	10,01	72,062	9,97	66,844	9,94	0,51%
13,64	1,36	9,81	85,006	9,79	84,420	9,75	85,417	9,83	85,043	9,77	84,181	9,79	0,32%
13,11	1,36	9,76	83,729	9,75	83,564	9,71	84,329	9,76	83,959	9,70	82,467	9,73	0,28%
13,03	1,36	20,17	86,093	20,08	84,887	20,04	84,625	20,13	84,040	20,08	82,298	20,10	0,25%
13,02	1,36	20,20	83,722	20,13	84,433	20,08	84,449	20,20	83,530	20,12	81,603	20,15	0,28%
13,03	1,38	20,43	92,458	20,36	91,661	20,29	92,134	20,41	91,852	20,35	90,361	20,37	0,26%
12,74	1,36	30,47	93,646	30,31	91,854	30,25	88,153	30,43	86,760	30,35	85,337	30,36	0,29%
12,97	1,36	30,49	86,242	30,30	85,034	30,26	85,821	30,42	86,126	30,40	85,124	30,37	0,31%
13,07	1,37	30,43	90,998	30,31	89,192	30,27	88,083	30,42	87,983	30,41	87,103	30,37	0,24%
12,95	1,38	45,29	94,900	45,18	95,312	45,11	96,998	45,18	100,829	45,21	102,636	45,19	0,14%
12,76	1,37	45,36	90,500	45,14	89,920	44,95	91,280	45,09	92,828	45,12	92,389	45,13	0,33%
12,88	1,36	45,36	90,864	45,15	89,289	45,03	88,277	45,18	88,158	45,15	87,258	45,17	0,26%
12,93	1,35	70,44	93,094	70,33	94,602	69,86	95,671	69,41	96,865	69,54	97,264	69,92	0,66%
12,93	1,36	70,41	92,526	70,19	92,292	70,00	93,048	70,01	94,118	69,54	93,733	70,03	0,46%
12,87	1,35	70,22	83,982	70,11	82,297	69,90	82,152	69,50	82,283	69,51	81,824	69,85	0,48%
12,91	1,36	100,04	96,051	100,45	95,993	100,20	95,795	100,42	96,304	100,69	96,781	100,36	0,25%
12,95	1,36	100,84	91,334	101,16	93,478	100,68	94,949	100,69	96,390	100,69	97,051	100,81	0,20%
12,80	1,36	100,93	92,701	100,96	94,565	100,26	96,582	100,21	98,519	100,26	98,878	100,52	0,38%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,66%
13,01	1,36		1,48%		0,54%							Mín.	0,14%

Trat. "S" com 48 golpes (1506 kJ/m ³), umidade de 15 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
15,07	1,52	5,19	55,214	5,16	56,437	5,16	56,495	5,19	55,123	5,19	54,678	5,18	0,32%
15,11	1,50	5,20	56,319	5,16	53,783	5,19	52,639	5,20	52,491	5,20	52,237	5,19	0,33%
14,84	1,54	5,23	57,310	5,21	54,338	5,19	55,140	5,23	56,869	5,20	56,815	5,21	0,36%
14,92	1,51	9,95	65,048	9,92	64,033	9,87	63,988	9,96	65,697	9,92	65,516	9,92	0,34%
15,02	1,51	9,95	57,823	9,90	58,708	9,87	60,612	9,94	61,244	9,94	59,416	9,92	0,35%
14,72	1,50	9,84	66,338	9,83	67,201	9,78	67,669	9,87	65,894	9,81	63,499	9,82	0,35%
14,83	1,52	20,17	67,104	20,06	67,709	20,04	67,076	20,14	67,301	20,08	66,786	20,10	0,28%
14,99	1,52	20,05	66,104	19,97	65,152	19,92	63,900	20,05	65,026	19,98	66,259	19,99	0,28%
14,74	1,51	19,98	66,989	19,90	65,848	19,86	65,023	20,00	63,622	19,96	60,662	19,94	0,29%
15,03	1,52	30,48	63,891	30,32	61,759	30,27	59,630	30,40	59,828	30,38	61,767	30,37	0,26%
14,93	1,52	30,43	67,172	30,30	67,588	30,28	68,369	30,42	67,829	30,42	64,836	30,37	0,24%
15,02	1,52	30,37	67,161	30,23	69,142	30,19	67,813	30,36	65,941	30,30	64,565	30,29	0,26%
14,92	1,48	45,40	61,582	45,13	62,218	45,02	63,463	44,94	64,647	45,02	63,938	45,10	0,40%
14,99	1,50	45,43	63,093	45,19	64,259	45,09	64,338	44,93	63,514	44,81	62,447	45,09	0,54%
15,17	1,50	45,50	64,155	45,30	63,221	45,23	62,106	44,81	62,715	44,89	63,666	45,15	0,64%
14,86	1,50	70,61	61,866	70,54	62,436	70,34	62,323	70,51	62,982	70,46	63,982	70,49	0,14%
14,97	1,52	70,72	66,777	70,66	68,081	70,40	67,223	70,58	65,455	70,50	64,705	70,57	0,18%
14,80	1,50	70,70	62,317	70,64	63,190	70,48	63,499	70,63	63,836	70,52	64,256	70,59	0,13%
14,78	1,52	100,77	72,707	100,86	73,666	100,50	74,560	100,37	75,686	100,47	75,232	100,59	0,21%
14,71	1,52	101,00	67,556	101,09	68,302	100,51	67,536	100,28	67,196	100,33	67,561	100,64	0,38%
14,97	1,55	101,05	68,777	101,14	70,977	100,68	71,137	100,47	70,539	100,60	70,984	100,79	0,29%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,64%
14,92	1,51		0,87%		1,02%							Mín.	0,13%

Trat. "S" com 48 golpes (1506 kJ/m ³), umidade de 17 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
19,02	1,59	5,02	6,450	5,02	6,508	5,01	6,410	5,04	6,506	5,00	6,913	5,02 0,34%
18,60	1,60	5,08	7,968	5,08	8,001	5,06	7,754	5,09	7,915	5,05	7,961	5,07 0,31%
18,60	1,59	5,10	7,428	5,10	7,141	5,08	6,939	5,11	6,936	5,08	7,061	5,09 0,27%
18,67	1,59	10,04	8,138	10,01	7,958	9,96	8,250	10,05	8,357	9,97	8,082	10,01 0,37%
18,25	1,60	10,04	7,846	10,04	8,289	10,02	9,151	10,09	9,230	10,01	9,014	10,04 0,31%
18,72	1,59	10,02	7,900	10,02	8,751	9,99	9,552	10,04	8,960	9,96	8,639	10,01 0,31%
18,24	1,61	20,49	11,282	20,37	11,323	20,33	10,753	20,43	10,135	20,37	9,891	20,40 0,32%
17,89	1,65	20,46	13,558	20,34	13,352	20,32	13,052	20,39	12,934	20,39	12,682	20,38 0,26%
18,27	1,61	20,66	9,515	20,52	9,903	20,42	9,829	20,52	9,805	20,40	10,112	20,50 0,50%
18,02	1,62	30,89	12,113	31,09	12,284	31,26	12,150	31,12	11,734	30,64	11,412	31,00 0,78%
18,35	1,60	30,37	11,831	30,45	11,966	30,53	11,925	30,71	11,343	31,05	10,193	30,62 0,88%
18,01	1,61	31,04	11,365	30,89	10,419	30,85	9,529	31,02	9,278	30,91	9,065	30,94 0,27%
18,62	1,60	44,86	10,544	44,61	11,388	44,58	12,066	44,71	11,914	44,06	11,461	44,56 0,68%
18,97	1,58	44,83	7,714	44,61	7,878	44,57	8,849	44,69	9,670	44,04	9,821	44,55 0,67%
19,03	1,58	45,02	11,822	44,80	11,477	44,75	10,683	44,88	10,077	44,25	9,931	44,74 0,66%
19,16	1,58	70,12	8,314	69,61	9,111	69,56	9,782	69,77	9,810	69,74	9,555	69,76 0,31%
19,88	1,57	69,98	10,299	69,86	11,403	69,72	12,459	69,89	13,295	69,89	13,765	69,87 0,14%
18,71	1,59	70,20	9,344	69,85	9,345	69,67	9,977	69,96	10,606	69,97	10,527	69,93 0,27%
17,94	1,62	100,59	12,911	100,59	12,900	99,91	13,168	99,89	13,468	100,12	13,846	100,22 0,35%
18,42	1,61	100,22	12,448	100,50	13,259	100,12	14,354	100,01	15,091	99,99	15,349	100,17 0,21%
18,59	1,60	100,32	10,787	100,44	10,793	99,96	11,235	99,68	11,631	99,77	11,567	100,04 0,34%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,88%
18,57	1,60		2,57%		1,12%							Mín. 0,14%

Trat. "S" com 48 golpes (1506 kJ/m ³), umidade de 20 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
19,53	1,57	5,01	6,348	5,01	5,886	4,99	5,547	5,02	5,723	4,98	6,062	5,00 0,31%
19,74	1,56	5,02	5,902	5,02	5,922	5,01	5,970	5,04	5,868	5,00	5,721	5,02 0,26%
19,62	1,56	5,05	5,533	5,05	5,576	5,05	5,784	5,04	6,313	5,01	6,487	5,04 0,30%
19,81	1,55	10,06	6,520	10,05	6,425	10,03	6,394	10,08	6,229	10,01	6,139	10,05 0,25%
19,60	1,56	10,05	6,403	10,03	5,780	10,00	5,362	10,07	5,643	10,01	6,134	10,03 0,28%
19,57	1,55	9,97	6,130	9,97	6,218	9,97	6,303	9,99	6,116	9,91	5,868	9,96 0,29%
19,81	1,55	20,56	6,970	20,50	6,938	20,44	6,726	20,57	6,515	20,46	6,582	20,51 0,30%
19,74	1,55	20,36	6,246	20,33	6,576	20,29	6,718	20,40	6,804	20,31	6,795	20,34 0,21%
19,71	1,55	20,43	5,884	20,39	6,050	20,36	6,071	20,46	5,898	20,35	5,974	20,40 0,23%
19,65	1,56	31,02	6,493	30,83	6,505	30,77	6,716	30,92	7,047	30,80	7,002	30,87 0,33%
19,54	1,55	30,93	6,203	30,84	6,414	30,80	6,660	30,92	6,787	30,74	6,715	30,85 0,26%
19,64	1,54	30,94	6,492	30,85	6,509	30,81	6,416	30,92	6,276	30,74	6,276	30,85 0,26%
19,49	1,56	45,63	6,592	45,39	6,390	45,32	6,485	45,35	6,712	44,79	6,956	45,30 0,68%
19,77	1,54	45,56	5,926	45,37	5,830	45,36	5,789	45,23	5,886	44,80	6,013	45,27 0,63%
19,60	1,55	45,59	5,548	45,38	5,432	45,35	5,781	45,19	6,430	44,74	6,867	45,25 0,70%
20,20	1,53	70,57	7,243	70,28	7,038	70,00	6,765	70,11	6,574	70,10	6,385	70,21 0,32%
19,56	1,56	70,47	6,286	70,18	6,405	69,92	6,550	70,06	6,581	70,03	6,403	70,13 0,30%
19,79	1,55	70,34	6,264	70,02	6,024	69,85	6,199	70,02	6,529	69,95	6,663	70,04 0,26%
19,22	1,57	100,91	6,915	100,72	6,710	100,33	6,617	100,56	6,720	100,28	7,018	100,56 0,26%
19,75	1,55	100,82	7,919	100,76	8,389	100,35	8,967	100,49	9,446	100,40	9,454	100,56 0,21%
19,66	1,55	100,93	5,981	100,48	6,027	100,33	6,132	100,33	6,222	100,20	6,250	100,46 0,28%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,70%
19,67	1,55		0,93%		0,58%							Mín. 0,21%

Trat. "A" com 32 golpes (1004 kJ/m ³), umidade de 13 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
12,99	1,32	5,09	70,146	5,10	69,250	5,08	70,024	5,10	71,039	5,06	70,811	5,09 0,28%
13,00	1,28	4,96	64,875	4,96	62,821	4,99	61,163	4,97	60,240	4,95	59,921	4,97 0,28%
12,93	1,31	5,01	71,592	5,01	71,552	5,00	72,042	5,01	72,582	4,98	72,638	5,00 0,24%
12,91	1,31	9,93	73,457	9,91	74,136	9,89	73,642	9,97	73,954	9,89	74,470	9,92 0,36%
12,92	1,31	9,85	68,417	9,84	70,925	9,82	71,592	9,89	71,243	9,81	71,196	9,84 0,34%
13,02	1,30	9,94	68,226	9,92	69,115	9,88	70,698	9,93	73,047	9,86	74,486	9,90 0,34%
13,09	1,31	19,94	68,252	19,87	68,567	19,82	68,937	19,97	69,743	19,89	69,730	19,90 0,29%
13,08	1,29	19,80	70,352	19,75	70,797	19,71	71,009	19,83	72,004	19,74	72,719	19,77 0,25%
12,89	1,30	19,79	66,186	19,73	66,195	19,67	66,128	19,80	67,114	19,70	68,226	19,74 0,27%
12,97	1,30	30,31	69,021	30,21	69,531	30,21	69,755	30,35	70,005	30,23	70,238	30,26 0,20%
12,90	1,30	30,42	66,044	30,32	67,820	30,27	67,941	30,45	67,676	30,42	66,761	30,38 0,26%
12,89	1,30	30,39	67,857	30,26	68,988	30,24	70,019	30,42	71,674	30,33	71,752	30,33 0,25%
12,99	1,31	45,39	65,338	45,15	69,500	45,10	70,833	45,30	70,787	45,20	69,998	45,23 0,26%
12,81	1,30	45,44	67,625	45,26	70,869	45,15	71,445	45,30	71,654	45,24	71,588	45,28 0,23%
12,93	1,30	45,46	63,965	45,27	66,174	45,14	68,162	45,32	69,668	45,33	70,019	45,31 0,26%
13,01	1,31	70,43	71,648	70,24	74,534	69,47	75,867	69,50	76,875	69,76	77,981	69,88 0,62%
12,95	1,31	70,42	66,007	69,65	68,562	69,57	70,058	70,00	70,643	70,13	70,583	69,95 0,50%
13,36	1,31	70,67	66,105	70,24	68,436	69,41	70,091	69,83	71,852	70,14	73,540	70,06 0,67%
12,99	1,30	100,38	62,335	100,52	64,494	100,19	64,835	100,31	66,771	100,44	68,574	100,37 0,12%
13,19	1,29	100,35	61,821	100,66	65,377	100,24	67,819	100,53	69,025	100,62	69,485	100,48 0,18%
12,87	1,29	100,47	65,165	100,80	67,966	100,42	69,807	100,67	71,256	100,56	72,145	100,58 0,15%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,67%
12,99	1,30		0,93%		0,66%							Mín. 0,12%

Trat. "A" com 32 golpes (1004 kJ/m ³), umidade de 15 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
14,84	1,39	5,14	43,519	5,14	44,616	5,13	44,907	5,15	44,558	5,14	46,209	5,14	0,14%
14,81	1,38	5,05	36,371	5,05	37,436	5,03	40,277	5,05	42,987	5,02	45,873	5,04	0,30%
14,76	1,40	5,03	45,098	5,04	47,341	5,03	47,989	5,05	47,454	5,01	48,024	5,03	0,25%
14,61	1,39	9,90	41,132	9,88	41,677	9,86	43,440	9,90	44,581	9,84	47,167	9,88	0,25%
14,65	1,38	9,93	37,114	9,91	36,917	9,86	39,383	9,91	41,922	9,84	44,514	9,89	0,40%
14,65	1,39	9,90	44,520	9,91	45,812	9,88	47,695	9,91	50,008	9,84	51,782	9,89	0,28%
14,46	1,37	20,11	46,562	20,06	47,255	20,00	48,252	20,08	49,782	20,00	51,265	20,05	0,25%
14,78	1,38	20,07	47,126	20,01	47,924	19,97	48,250	20,12	49,441	20,04	51,215	20,04	0,29%
14,67	1,39	20,12	39,777	20,06	41,942	20,02	43,803	20,11	45,987	20,00	50,023	20,06	0,28%
15,10	1,41	30,57	51,811	30,45	54,084	30,43	54,290	30,60	52,853	30,48	54,005	30,50	0,25%
14,96	1,40	30,65	53,270	30,48	54,423	30,44	54,254	30,61	53,613	30,52	54,280	30,54	0,29%
14,21	1,39	30,34	53,379	30,17	53,495	30,10	54,383	30,24	56,297	30,18	58,046	30,20	0,30%
14,55	1,38	45,16	45,979	44,85	46,984	44,70	48,692	44,90	50,159	44,86	51,873	44,89	0,37%
14,81	1,39	45,16	46,175	44,93	45,933	44,85	46,773	44,98	48,020	44,90	49,506	44,96	0,27%
14,69	1,38	45,14	50,243	44,88	51,088	44,78	52,176	44,91	52,966	44,83	53,419	44,91	0,31%
14,66	1,40	70,35	52,332	70,43	52,565	70,19	52,778	70,33	52,412	70,24	51,883	70,31	0,14%
14,57	1,40	70,24	48,281	70,17	50,218	69,99	52,602	70,18	53,285	70,08	52,872	70,13	0,14%
14,43	1,40	70,16	51,469	70,17	52,379	70,14	52,769	70,24	52,952	70,12	53,587	70,17	0,06%
14,53	1,40	100,17	61,804	100,27	60,430	99,65	58,682	99,71	56,686	99,55	55,220	99,87	0,33%
14,34	1,39	99,94	48,483	100,04	48,960	99,37	49,298	99,44	49,151	99,30	49,107	99,62	0,35%
14,27	1,37	99,85	56,240	99,97	57,530	99,50	58,229	99,46	58,396	99,46	58,367	99,65	0,24%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,40%
14,64	1,39		1,50%		0,77%							Mín.	0,06%

Trat. "A" com 32 golpes (1004 kJ/m ³), umidade de 17 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
17,25	1,57	5,13	20,418	5,12	20,278	5,09	21,042	5,14	21,873	5,11	22,230	5,12	0,36%
17,11	1,60	5,19	22,439	5,19	22,935	5,17	23,615	5,20	23,688	5,17	24,730	5,18	0,27%
16,99	1,57	5,14	21,008	5,13	21,829	5,14	22,240	5,15	22,683	5,12	23,119	5,14	0,21%
17,69	1,60	10,27	22,271	10,23	22,181	10,19	20,774	10,27	19,496	10,22	19,896	10,24	0,34%
17,58	1,60	10,11	21,462	10,10	21,123	10,12	20,670	10,14	21,061	10,08	21,865	10,11	0,21%
16,96	1,57	9,90	23,605	9,86	23,411	9,83	23,358	9,93	23,648	9,90	23,707	9,88	0,37%
16,84	1,58	20,15	23,938	20,02	24,487	20,02	24,381	20,09	24,513	20,07	24,755	20,07	0,26%
16,81	1,57	20,16	25,638	20,11	26,122	20,05	26,080	20,19	25,678	20,12	25,934	20,12	0,28%
16,69	1,60	20,10	24,643	20,06	25,295	20,01	25,533	20,12	25,708	20,03	26,616	20,06	0,24%
16,78	1,62	30,58	27,279	30,41	27,480	30,34	28,358	30,46	28,900	30,48	28,790	30,46	0,29%
16,75	1,61	30,54	28,432	30,41	28,482	30,33	28,143	30,48	28,060	30,38	28,034	30,43	0,28%
16,84	1,61	30,59	27,945	30,41	28,432	30,39	28,790	30,51	29,207	30,43	29,225	30,47	0,27%
16,76	1,59	45,52	26,573	45,28	27,244	45,23	27,348	45,39	27,446	45,35	27,830	45,35	0,24%
17,57	1,60	45,11	23,256	44,83	24,039	44,72	24,374	44,85	24,729	44,55	25,100	44,81	0,46%
16,70	1,60	45,56	27,682	45,32	28,418	45,27	28,642	45,41	28,134	45,37	27,889	45,39	0,25%
16,64	1,59	70,24	29,032	70,36	29,045	70,16	29,424	70,31	29,378	70,30	29,256	70,28	0,11%
16,56	1,60	70,71	28,282	70,49	29,087	69,99	29,716	69,91	29,710	70,03	29,592	70,23	0,50%
16,90	1,59	70,61	28,331	70,57	28,458	69,87	28,971	69,88	29,511	69,98	30,021	70,18	0,54%
16,99	1,60	100,50	30,447	100,61	31,071	100,11	31,168	100,24	30,837	100,28	30,781	100,35	0,20%
16,87	1,62	100,59	30,048	100,68	30,518	100,01	30,766	100,12	30,937	100,10	30,902	100,30	0,31%
16,72	1,62	100,54	30,753	100,68	31,333	100,07	31,538	100,08	31,556	100,06	31,519	100,28	0,30%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,54%
16,95	1,60		1,88%		1,02%							Mín.	0,11%

Trat. "A" com 32 golpes (1004 kJ/m ³), umidade de 20 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
20,28	1,54	5,14	4,555	5,14	4,406	5,13	4,497	5,17	4,687	5,13	5,047	5,14 0,29%
20,01	1,54	5,12	5,274	5,13	5,419	5,12	5,419	5,14	5,140	5,11	4,916	5,12 0,25%
20,15	1,54	5,10	4,918	5,11	4,924	5,10	5,037	5,11	5,235	5,09	5,414	5,10 0,20%
20,16	1,54	10,11	5,037	10,09	5,191	10,05	5,292	10,11	5,171	10,05	5,188	10,08 0,31%
20,28	1,54	10,05	5,027	10,03	5,137	9,99	5,463	10,06	5,647	9,99	5,531	10,02 0,33%
20,12	1,54	10,11	4,909	10,10	5,032	10,06	5,209	10,12	5,449	10,06	5,407	10,09 0,28%
20,23	1,54	20,28	4,828	20,24	4,898	20,21	5,167	20,26	5,544	20,15	5,752	20,23 0,25%
20,28	1,54	20,18	5,282	20,12	5,255	20,07	5,335	20,18	5,289	20,09	4,989	20,13 0,26%
20,23	1,54	20,12	5,226	20,11	5,280	20,07	5,040	20,14	4,729	20,01	4,577	20,09 0,25%
20,04	1,56	30,52	5,368	30,36	5,362	30,32	5,488	30,46	5,563	30,43	5,704	30,42 0,26%
20,25	1,54	30,52	5,398	30,41	5,444	30,36	5,344	30,49	5,156	30,35	5,052	30,42 0,25%
20,08	1,54	30,61	5,463	30,50	5,439	30,45	5,240	30,60	5,120	30,50	5,251	30,53 0,23%
20,41	1,53	45,42	4,820	45,21	5,332	45,15	4,995	45,20	4,805	45,09	5,016	45,21 0,27%
20,25	1,53	45,40	5,412	45,24	5,374	45,16	5,069	45,34	4,997	45,31	5,248	45,29 0,21%
20,42	1,52	45,40	4,728	45,35	4,577	45,16	4,552	45,10	4,576	45,15	4,541	45,23 0,30%
20,33	1,54	70,38	6,277	70,15	6,238	69,99	6,312	70,16	6,377	69,87	6,360	70,11 0,28%
20,04	1,53	70,32	5,630	70,13	5,563	70,02	5,510	70,23	5,370	69,73	5,189	70,08 0,32%
20,23	1,54	70,46	5,678	70,26	5,728	70,08	5,742	70,15	5,669	69,63	5,542	70,12 0,44%
20,24	1,54	100,54	6,268	100,56	6,189	100,19	6,169	100,37	6,186	100,33	6,191	100,40 0,15%
20,13	1,54	100,68	6,446	100,62	6,370	100,05	6,192	100,17	5,942	100,10	5,725	100,32 0,30%
20,28	1,53	100,63	6,034	100,61	6,016	100,05	5,993	100,08	5,990	100,17	5,981	100,31 0,29%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,44%
20,21	1,54		0,56%		0,44%							Mín. 0,15%

Trat. "M" com 19 golpes (596 kJ/m ³), umidade de 13 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
12,97	1,30	5,09	60,186	5,09	59,789	5,07	59,633	5,10	58,155	5,07	56,151	5,08	0,31%
13,13	1,27	5,08	54,219	5,07	57,365	5,06	57,036	5,09	56,239	5,05	55,330	5,07	0,30%
13,13	1,28	5,09	56,427	5,09	56,442	5,05	56,522	5,11	56,624	5,07	57,299	5,08	0,41%
12,92	1,28	9,96	58,595	9,94	59,264	9,91	59,543	9,99	59,905	9,92	59,155	9,95	0,29%
13,06	1,28	10,00	56,665	9,96	57,514	9,93	58,257	9,99	60,630	9,94	60,851	9,96	0,33%
13,08	1,28	10,03	54,943	10,03	55,513	9,97	55,690	10,06	54,991	9,99	54,801	10,02	0,36%
13,08	1,28	19,98	57,285	19,95	58,192	19,88	57,622	20,01	56,719	19,92	56,087	19,95	0,25%
13,25	1,27	19,96	52,044	19,86	53,061	19,80	54,139	19,90	56,799	19,82	58,310	19,87	0,31%
13,03	1,28	19,88	62,500	19,84	63,573	19,78	64,314	19,89	64,842	19,80	64,708	19,84	0,24%
13,18	1,28	30,37	62,610	30,31	62,531	30,29	62,033	30,43	61,519	30,29	60,919	30,34	0,20%
13,08	1,28	30,45	57,752	30,28	59,901	30,29	59,348	30,51	51,303	30,49	46,131	30,40	0,36%
13,19	1,29	30,38	62,409	30,29	62,189	30,30	61,396	30,43	60,805	30,31	60,267	30,34	0,21%
12,87	1,28	45,27	58,225	45,04	58,808	44,97	58,568	45,11	58,678	45,07	59,225	45,09	0,25%
13,11	1,28	45,30	62,880	45,03	63,992	44,98	64,473	45,11	64,608	45,05	64,396	45,10	0,27%
13,12	1,28	45,31	61,119	45,10	63,189	45,07	63,672	45,16	63,779	45,01	63,194	45,13	0,25%
12,77	1,27	70,44	57,386	70,22	58,556	69,70	59,018	69,48	59,574	69,69	60,402	69,90	0,58%
12,79	1,28	70,45	58,368	70,35	60,583	69,92	61,491	69,43	61,500	69,54	61,541	69,94	0,66%
12,83	1,27	70,39	51,406	70,08	54,580	69,35	56,911	69,53	58,453	69,75	59,462	69,82	0,60%
13,05	1,27	101,11	55,399	101,30	58,151	100,68	59,493	100,72	60,437	100,72	61,384	100,91	0,28%
12,89	1,27	100,92	55,508	101,11	57,527	100,50	58,669	100,53	59,793	100,53	60,849	100,72	0,28%
12,82	1,29	101,23	65,707	101,31	67,587	100,69	67,811	100,74	67,796	100,74	67,905	100,94	0,30%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,66%
13,02	1,28		1,09%		0,50%							Mín.	0,20%

Trat. "M" com 19 golpes (596 kJ/m ³), umidade de 15 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
15,07	1,34	4,93	38,339	4,93	39,885	4,91	40,805	4,93	41,940	4,89	42,186	4,92	0,33%
15,03	1,33	4,92	37,579	4,92	38,541	4,92	38,667	4,93	40,008	4,89	39,233	4,92	0,29%
15,05	1,35	4,99	43,197	4,99	43,600	5,01	42,940	5,00	43,030	4,98	42,932	4,99	0,23%
14,83	1,34	9,82	40,887	9,82	42,339	9,78	43,032	9,83	44,194	9,77	44,784	9,80	0,28%
14,88	1,34	9,87	42,172	9,85	43,010	9,81	43,436	9,84	44,198	9,78	43,592	9,83	0,37%
14,95	1,33	9,76	38,704	9,77	38,474	9,76	38,833	9,76	40,851	9,72	42,891	9,75	0,21%
14,86	1,33	19,96	38,736	19,91	39,173	19,84	40,050	19,94	41,564	19,83	42,765	19,89	0,30%
14,87	1,33	20,08	38,876	20,03	39,459	19,99	40,022	20,06	41,646	19,95	44,155	20,02	0,27%
14,92	1,31	20,02	37,283	19,96	39,207	19,94	41,027	19,97	42,771	19,80	44,209	19,94	0,41%
14,14	1,34	30,59	40,194	30,46	41,652	30,38	42,746	30,46	44,015	30,21	44,809	30,42	0,45%
15,04	1,32	30,52	38,552	30,35	39,931	30,31	40,722	30,45	41,326	30,29	42,301	30,38	0,32%
14,61	1,32	30,75	40,823	30,65	42,589	30,61	43,599	30,75	44,127	30,60	44,535	30,67	0,23%
14,73	1,33	45,59	44,151	45,32	44,969	45,27	46,277	45,11	47,201	44,91	47,598	45,24	0,56%
14,67	1,33	45,57	42,588	45,34	43,772	45,25	45,015	45,19	46,374	44,83	47,179	45,24	0,59%
14,80	1,34	45,64	42,049	45,38	42,711	45,32	42,786	45,39	42,781	44,83	43,478	45,31	0,65%
14,55	1,33	70,05	44,999	70,00	44,962	69,87	44,900	70,03	45,844	69,93	47,079	69,98	0,11%
14,75	1,35	70,22	51,541	70,08	53,184	69,82	54,633	69,96	55,986	69,94	56,700	70,00	0,22%
14,66	1,34	70,30	43,706	70,28	44,084	69,94	44,723	70,04	45,677	69,98	47,195	70,11	0,24%
14,42	1,31	100,13	42,032	100,22	44,055	99,77	45,815	99,64	47,168	99,60	48,071	99,87	0,29%
14,43	1,33	99,85	45,993	100,04	47,583	99,64	48,909	99,55	49,914	99,55	50,784	99,73	0,21%
14,47	1,35	100,29	43,409	100,27	44,955	99,88	46,785	99,76	48,224	99,71	49,143	99,98	0,28%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,65%
14,75	1,33		1,68%		0,83%							Mín.	0,11%

Trat. "M" com 19 golpes (596 kJ/m ³), umidade de 17 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
17,40	1,47	5,06	19,651	5,07	19,545	5,08	19,158	5,08	19,268	5,05	19,243	5,07	0,25%
17,31	1,49	5,05	20,432	5,05	21,011	5,03	20,723	5,05	21,201	5,02	21,421	5,04	0,29%
17,38	1,49	5,06	18,151	5,07	19,686	5,05	20,032	5,07	20,930	5,03	22,082	5,05	0,33%
17,60	1,48	10,02	20,895	10,01	22,052	9,98	22,170	10,04	22,044	9,96	21,842	10,00	0,30%
17,30	1,50	9,91	21,192	9,89	21,360	9,85	20,552	9,94	20,185	9,90	20,454	9,90	0,33%
17,27	1,51	9,89	21,318	9,89	21,846	9,88	21,756	9,91	22,115	9,85	21,913	9,88	0,24%
17,42	1,50	20,03	22,047	20,01	23,033	19,99	23,014	20,05	22,855	19,91	22,800	20,00	0,27%
17,49	1,49	19,89	21,080	19,84	21,258	19,78	21,307	19,89	22,076	19,79	22,603	19,84	0,27%
17,37	1,49	19,96	20,877	19,92	21,197	19,87	21,365	19,97	21,658	19,87	21,410	19,92	0,23%
17,45	1,49	30,45	21,062	30,34	21,931	30,32	22,075	30,43	22,247	30,31	22,166	30,37	0,21%
17,30	1,50	30,38	22,129	30,27	21,993	30,25	20,933	30,36	21,024	30,22	21,998	30,30	0,23%
17,27	1,50	30,24	20,768	30,14	20,827	30,15	20,910	30,35	21,719	30,29	21,597	30,23	0,30%
17,49	1,48	45,56	21,261	45,30	22,320	45,25	21,996	45,39	21,155	45,25	21,398	45,35	0,29%
17,51	1,50	45,44	22,235	45,21	22,626	45,14	22,937	45,30	22,952	45,20	23,430	45,26	0,26%
17,42	1,49	45,51	21,444	45,30	22,018	45,15	22,114	45,24	22,111	45,22	22,062	45,28	0,31%
17,38	1,49	70,22	22,531	70,01	22,742	69,41	22,593	69,73	22,537	69,79	22,748	69,83	0,43%
17,32	1,48	70,24	20,708	70,15	21,054	69,69	21,217	69,43	21,298	69,43	21,511	69,79	0,55%
17,34	1,49	70,16	21,529	70,00	22,187	69,39	22,512	69,89	22,629	69,65	22,769	69,82	0,44%
17,52	1,51	100,86	23,707	100,93	24,224	100,19	24,553	100,28	24,811	100,24	24,865	100,50	0,36%
17,47	1,51	100,91	21,475	100,92	22,037	100,37	22,388	100,51	22,754	100,42	23,333	100,63	0,27%
17,49	1,48	100,59	21,460	100,77	21,620	100,42	21,502	100,58	21,230	100,47	21,120	100,56	0,14%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,55%
17,40	1,49		0,53%		0,69%							Mín.	0,14%

Trat. "M" com 19 golpes (596 kJ/m ³), umidade de 20 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
20,04	1,55	5,02	3,683	5,02	4,358	5,13	5,026	5,17	4,871	5,13	4,760	5,10 1,36%
19,95	1,56	5,06	4,203	5,06	4,405	5,05	4,843	5,08	5,312	5,05	5,184	5,06 0,28%
20,00	1,56	5,10	4,847	5,09	5,047	5,07	5,123	5,10	4,679	5,07	4,414	5,09 0,32%
20,02	1,56	10,01	6,101	9,99	5,650	9,96	4,976	9,99	4,561	9,92	4,516	9,97 0,36%
20,16	1,56	10,10	4,314	10,09	4,462	10,07	4,633	10,13	4,686	10,07	4,607	10,09 0,28%
20,29	1,55	9,94	5,335	9,93	5,577	9,89	5,519	9,96	4,673	9,90	4,495	9,92 0,29%
19,90	1,58	20,08	6,308	20,02	5,790	20,00	5,232	20,12	5,039	20,02	5,184	20,05 0,25%
19,89	1,57	20,07	5,009	20,00	5,286	19,96	5,292	20,10	5,313	20,02	5,220	20,03 0,28%
19,96	1,56	20,03	5,437	20,00	5,085	19,98	4,690	20,07	4,454	19,94	4,632	20,00 0,24%
19,98	1,56	30,64	5,137	30,56	5,252	30,50	5,233	30,60	5,134	30,46	4,990	30,55 0,24%
19,93	1,56	30,58	5,807	30,47	6,172	30,43	6,146	30,56	5,739	30,34	5,217	30,48 0,32%
19,96	1,56	30,63	5,106	30,54	5,024	30,50	5,142	30,58	5,213	30,47	5,205	30,54 0,21%
19,98	1,56	45,39	4,925	45,16	5,519	45,09	6,173	45,19	6,105	45,04	5,551	45,17 0,29%
19,99	1,56	45,33	5,001	45,13	4,968	45,10	5,098	45,27	5,093	45,17	4,954	45,20 0,21%
19,79	1,56	45,41	5,481	45,17	5,342	45,16	5,168	45,33	5,191	45,20	5,369	45,25 0,25%
19,86	1,57	70,49	6,435	70,38	6,373	70,06	6,075	70,03	5,705	69,43	5,453	70,08 0,59%
19,83	1,56	70,46	5,513	70,18	5,500	70,05	5,437	70,22	5,193	69,63	4,917	70,11 0,43%
19,92	1,56	70,49	5,438	70,31	5,454	70,16	5,481	70,30	5,471	69,56	5,520	70,16 0,51%
20,00	1,57	100,66	5,943	100,72	5,922	100,26	5,952	100,47	6,015	100,42	6,053	100,50 0,19%
19,74	1,57	100,50	6,523	100,61	6,489	100,15	6,496	100,37	6,432	100,37	6,404	100,40 0,17%
19,91	1,56	100,34	6,331	100,40	6,216	99,92	6,059	100,10	5,911	100,12	5,877	100,18 0,19%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 1,36%
19,96	1,56		0,59%		0,38%							Mín. 0,17%

Trat. "I" com 11 golpes (345 kJ/m ³), umidade de 13 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
12,30	1,27	5,00	54,127	5,00	54,618	4,98	54,789	5,00	54,162	4,97	54,398	4,99	0,32%
12,35	1,27	5,04	51,979	5,02	52,758	5,00	53,650	5,04	54,273	5,01	54,807	5,02	0,38%
12,33	1,26	5,07	53,233	5,08	55,376	5,07	55,722	5,09	55,268	5,05	54,344	5,07	0,30%
12,29	1,26	9,88	49,906	9,84	47,850	9,90	38,437	9,95	37,680	9,92	37,141	9,90	0,41%
12,27	1,26	9,85	50,104	9,82	47,105	9,78	41,735	9,86	41,064	9,85	40,386	9,83	0,32%
12,18	1,26	9,88	51,279	9,84	51,734	9,81	51,777	9,90	50,445	9,86	48,960	9,86	0,37%
12,33	1,26	20,15	52,510	20,15	46,510	20,13	41,303	20,23	38,282	20,14	35,636	20,16	0,20%
12,49	1,26	20,42	52,979	20,34	54,037	20,29	54,116	20,37	53,726	20,29	53,665	20,34	0,27%
12,06	1,25	20,08	52,680	20,01	53,379	20,02	53,324	20,11	53,115	20,00	52,752	20,04	0,24%
12,40	1,25	30,81	46,068	30,71	44,872	30,66	42,695	30,81	42,663	30,72	42,164	30,74	0,22%
12,36	1,27	31,00	52,041	30,83	50,522	30,85	45,512	30,98	41,726	30,95	40,496	30,92	0,25%
12,54	1,26	30,91	48,118	30,73	47,846	30,72	45,683	30,83	44,606	30,84	44,129	30,81	0,26%
12,39	1,27	45,51	52,664	45,36	49,491	45,27	42,805	45,34	39,486	45,38	38,326	45,37	0,19%
12,25	1,27	45,47	50,757	45,26	49,219	45,27	43,553	45,42	39,719	45,37	38,383	45,36	0,21%
12,29	1,26	45,51	53,830	45,30	53,917	45,29	52,747	45,48	51,169	45,37	49,570	45,39	0,22%
12,23	1,27	70,52	49,680	70,65	50,178	70,41	47,037	70,58	44,274	70,60	42,390	70,55	0,13%
12,22	1,27	70,47	51,303	70,61	52,476	70,39	51,797	70,52	50,030	70,51	48,430	70,50	0,11%
12,35	1,27	70,67	49,905	70,67	51,816	70,30	52,337	70,48	51,306	70,45	49,591	70,52	0,22%
12,29	1,26	100,43	47,075	100,28	48,290	99,85	47,720	100,03	46,517	100,12	45,278	100,14	0,22%
12,48	1,25	100,29	43,665	100,27	45,320	99,73	45,520	99,92	44,822	99,64	43,999	99,97	0,30%
12,46	1,26	100,52	46,804	100,38	48,411	99,80	48,302	99,92	47,223	99,83	46,017	100,09	0,34%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,41%
12,33	1,26		0,91%		0,55%							Mín.	0,11%

Trat. "I" com 11 golpes (345 kJ/m ³), umidade de 15 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
15,75	1,32	5,06	28,567	5,06	27,878	5,04	27,679	5,07	27,818	5,04	27,639	5,05 0,31%
15,77	1,29	5,08	26,676	5,08	26,654	5,08	26,736	5,08	27,448	5,06	27,603	5,08 0,21%
15,71	1,29	5,08	27,017	5,09	26,193	5,08	26,222	5,09	26,731	5,06	26,901	5,08 0,26%
15,60	1,30	10,31	29,695	10,32	29,777	10,28	30,115	10,32	30,395	10,25	30,571	10,30 0,28%
15,56	1,29	10,24	30,105	10,25	30,029	10,21	30,813	10,25	31,437	10,18	31,546	10,23 0,28%
15,53	1,29	10,13	28,509	10,12	28,926	10,08	28,813	10,15	29,501	10,08	30,379	10,11 0,30%
15,53	1,28	20,05	30,418	20,00	29,768	19,95	29,673	20,06	29,722	19,96	29,632	20,00 0,25%
15,68	1,27	19,99	31,135	19,96	31,403	19,90	31,416	19,99	31,259	19,88	30,936	19,94 0,25%
15,55	1,28	20,03	29,666	19,99	30,047	19,92	30,428	20,01	31,057	19,90	31,540	19,97 0,27%
15,58	1,29	30,74	30,354	30,61	30,699	30,53	31,166	30,66	31,767	30,54	31,833	30,62 0,28%
15,48	1,29	30,80	30,696	30,66	30,506	30,59	30,324	30,74	30,510	30,64	30,118	30,69 0,26%
15,25	1,29	30,72	30,936	30,61	31,508	30,55	31,975	30,69	32,578	30,55	32,499	30,62 0,26%
15,10	1,30	45,27	29,098	45,07	28,952	44,99	29,869	45,11	30,484	44,51	30,231	44,99 0,64%
15,51	1,29	45,30	29,741	45,11	29,483	45,03	29,864	44,82	30,542	44,52	30,876	44,96 0,67%
15,43	1,29	45,24	30,072	45,00	30,078	44,92	30,036	44,70	30,324	44,57	30,483	44,88 0,59%
15,36	1,28	70,27	34,293	70,05	34,034	69,99	33,997	70,11	34,091	69,97	34,067	70,08 0,17%
15,19	1,29	70,09	32,547	70,08	32,183	70,00	31,831	70,26	31,840	70,16	31,680	70,12 0,14%
15,38	1,29	70,10	32,754	70,12	33,255	70,11	33,574	70,30	33,838	70,22	33,893	70,17 0,13%
15,48	1,29	100,43	30,977	100,61	31,616	100,17	32,209	100,21	32,777	100,19	33,181	100,32 0,19%
15,43	1,28	100,59	33,262	100,74	33,287	100,26	33,194	100,35	33,327	100,24	33,611	100,44 0,22%
15,55	1,29	100,40	33,360	100,46	33,662	99,92	33,754	100,19	33,930	100,15	33,940	100,22 0,22%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,67%
15,50	1,29		1,12%		0,67%							Mín. 0,13%

Trat. "I" com 11 golpes (345 kJ/m ³), umidade de 17 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
17,48	1,43	5,01	17,755	5,00	17,578	4,98	17,202	5,03	17,055	5,00	17,513	5,00 0,35%
17,35	1,40	5,01	17,934	5,02	17,521	5,01	16,958	5,02	17,447	4,99	18,008	5,01 0,25%
17,42	1,41	5,03	17,352	5,02	16,735	5,01	16,447	5,03	17,118	5,00	17,333	5,02 0,26%
17,43	1,40	9,91	19,022	9,89	18,717	9,87	18,121	9,96	18,477	9,87	18,927	9,90 0,39%
17,56	1,41	9,93	18,872	9,91	18,292	9,94	18,135	9,92	18,015	9,88	17,507	9,91 0,24%
17,23	1,41	9,85	19,285	9,85	19,144	9,82	18,586	9,86	18,740	9,80	18,973	9,84 0,26%
17,40	1,39	20,60	18,513	20,53	19,117	20,47	19,177	20,59	19,305	20,49	19,683	20,54 0,29%
17,31	1,39	20,42	20,039	20,37	20,295	20,34	19,473	20,47	19,290	20,35	20,007	20,39 0,27%
17,32	1,40	20,47	17,969	20,41	18,805	20,35	19,330	20,47	19,195	20,38	20,150	20,41 0,26%
17,23	1,39	30,27	19,018	30,18	18,658	30,14	18,330	30,25	18,845	30,13	19,401	30,19 0,21%
17,40	1,40	30,37	18,758	30,24	19,288	30,18	19,155	30,32	18,998	30,21	19,058	30,26 0,26%
17,27	1,39	30,27	18,870	30,12	19,514	30,14	19,288	30,27	18,903	30,14	19,675	30,19 0,25%
17,24	1,41	45,37	21,001	45,01	21,617	44,83	21,227	45,13	21,438	44,88	22,212	45,04 0,48%
17,04	1,42	45,45	20,199	45,03	21,158	45,11	21,692	45,09	22,174	44,78	22,771	45,09 0,53%
17,34	1,41	45,48	21,189	45,14	22,482	45,22	22,522	45,10	22,407	44,91	22,688	45,17 0,46%
17,10	1,41	69,72	21,640	69,74	22,647	69,58	23,460	69,66	23,803	69,56	23,769	69,65 0,12%
16,92	1,41	69,90	22,549	69,74	22,824	69,48	22,541	69,66	22,436	69,60	22,630	69,68 0,23%
17,10	1,40	70,01	21,641	69,79	22,307	69,48	22,323	69,54	22,227	69,50	22,517	69,66 0,33%
17,27	1,41	99,94	19,741	99,82	19,679	99,46	19,453	99,64	19,417	99,64	19,675	99,70 0,19%
17,21	1,38	99,85	19,583	99,91	19,678	99,42	19,691	99,51	20,019	99,46	20,685	99,63 0,23%
17,37	1,39	99,76	18,102	99,72	18,546	99,10	18,674	99,19	18,841	99,19	19,228	99,39 0,32%
Média 17,28	Média 1,40	C.V.	Umid. 0,89%	C.V.	Densid. 0,80%							Máx. 0,53% Mín. 0,12%

Trat. "I" com 11 golpes (345 kJ/m ³), umidade de 20 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
19,80	1,54	4,96	6,184	4,96	6,164	4,94	6,096	4,97	6,074	4,94	6,289	4,95 0,32%
19,81	1,54	5,03	5,874	5,04	5,987	5,03	6,041	5,05	6,241	4,95	6,331	5,02 0,78%
19,77	1,54	5,00	6,227	5,00	6,404	5,00	6,280	5,00	6,005	4,97	6,130	4,99 0,27%
19,81	1,54	9,98	6,097	9,99	5,917	9,96	5,780	9,99	5,785	9,92	5,909	9,97 0,29%
19,73	1,53	9,97	6,128	9,98	6,327	9,98	6,671	9,97	6,606	9,91	6,248	9,96 0,29%
19,51	1,54	10,00	5,728	9,98	5,643	9,95	5,652	10,00	5,812	9,94	6,058	9,98 0,28%
19,65	1,55	20,12	6,420	20,03	6,492	20,00	6,625	20,13	6,629	20,04	6,386	20,06 0,29%
19,85	1,53	20,26	6,436	20,20	6,637	20,15	6,560	20,28	6,477	20,18	6,335	20,21 0,27%
19,68	1,54	20,22	6,359	20,19	6,598	20,15	6,745	20,25	6,649	20,13	6,538	20,19 0,24%
19,78	1,54	30,75	6,466	30,64	6,401	30,57	6,288	30,69	6,212	30,56	6,256	30,64 0,26%
19,76	1,54	30,79	6,834	30,63	6,671	30,57	6,355	30,73	6,216	30,64	6,313	30,67 0,29%
19,60	1,53	30,67	6,783	30,59	6,733	30,57	6,588	30,66	6,431	30,47	6,377	30,59 0,26%
19,69	1,55	45,23	7,669	44,96	7,913	44,95	7,939	45,11	7,827	44,84	7,731	45,02 0,34%
19,65	1,54	45,20	6,676	44,99	6,530	44,96	6,555	45,12	6,890	45,01	7,400	45,06 0,23%
19,77	1,53	45,45	6,494	45,24	6,391	45,26	6,446	45,31	6,631	44,88	6,843	45,23 0,46%
19,65	1,54	71,13	7,364	70,90	7,418	70,76	7,515	70,96	7,608	70,92	7,613	70,93 0,19%
19,64	1,54	71,14	6,761	71,16	7,237	70,90	7,762	71,12	7,863	71,11	7,671	71,09 0,15%
19,27	1,54	70,96	7,998	71,00	8,189	70,93	8,271	71,14	8,103	70,95	7,781	71,00 0,12%
19,39	1,55	100,13	7,390	100,31	7,411	99,80	7,506	100,01	7,604	100,05	7,699	100,06 0,19%
19,55	1,54	100,04	6,821	100,04	6,806	99,53	6,854	99,64	6,899	99,64	6,983	99,78 0,24%
19,57	1,54	100,04	7,252	100,22	7,318	99,62	7,371	99,73	7,365	99,76	7,282	99,87 0,25%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,78%
19,66	1,54		0,74%		0,42%							Mín. 0,12%

Trat. "B" com 5 golpes (157 kJ/m ³), umidade de 13 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
13,19	1,15	4,99	21,592	5,00	22,963	5,04	23,439	4,99	22,832	4,97	22,422	5,00	0,54%
12,98	1,14	4,97	26,091	4,98	26,688	5,05	27,378	4,99	27,502	4,98	26,452	5,00	0,65%
13,23	1,15	4,99	25,483	5,00	26,484	5,00	26,887	5,00	27,399	4,97	27,948	4,99	0,26%
13,09	1,19	9,94	30,804	9,92	30,585	9,88	28,671	9,97	26,344	9,90	25,119	9,92	0,35%
13,05	1,16	10,00	23,296	9,96	23,916	9,92	24,280	10,00	24,159	9,94	24,630	9,96	0,36%
13,18	1,14	9,89	15,444	9,87	19,435	9,83	22,228	9,89	24,083	9,82	26,245	9,86	0,32%
13,32	1,17	20,36	24,199	20,30	24,309	20,26	23,948	20,36	23,975	20,23	24,206	20,30	0,29%
12,57	1,17	19,74	27,474	19,71	28,783	19,79	29,990	19,77	31,034	19,72	31,757	19,75	0,18%
12,44	1,16	19,91	26,090	19,88	26,420	19,85	27,597	19,92	28,776	19,86	29,160	19,89	0,16%
12,91	1,17	30,38	25,631	30,37	26,227	30,33	25,464	30,46	25,493	30,44	25,572	30,40	0,18%
12,96	1,18	30,51	30,918	30,39	31,222	30,31	30,807	30,51	30,446	30,42	30,122	30,43	0,29%
13,09	1,18	30,46	26,858	30,29	28,895	30,29	30,195	30,45	31,008	30,34	31,912	30,37	0,28%
12,82	1,18	45,33	25,941	45,16	26,339	45,12	25,459	45,17	24,593	45,11	24,096	45,18	0,19%
12,93	1,17	45,35	21,644	45,11	23,056	45,07	22,772	45,17	21,592	45,04	20,584	45,15	0,27%
13,06	1,17	45,24	27,614	45,04	29,301	45,04	30,378	45,09	31,446	44,59	32,185	45,00	0,54%
13,07	1,17	70,49	25,820	70,46	25,836	70,17	25,296	70,21	24,002	69,52	22,759	70,17	0,56%
12,98	1,18	70,47	28,480	70,29	29,099	69,99	29,626	69,73	30,156	69,56	30,971	70,01	0,54%
13,25	1,18	70,61	27,014	70,40	28,658	70,04	29,960	69,86	31,053	69,54	32,207	70,09	0,61%
12,75	1,19	100,82	29,281	101,14	29,908	100,79	29,860	100,81	29,639	100,74	29,735	100,86	0,16%
13,15	1,19	100,73	27,446	100,92	27,646	100,47	26,342	100,32	24,622	100,34	23,224	100,55	0,26%
13,04	1,17	100,68	24,517	100,68	25,129	100,07	24,868	100,24	24,369	100,28	24,078	100,39	0,28%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,65%
13,00	1,17		1,67%		1,20%							Mín.	0,16%

Trat. "B" com 5 golpes (157 kJ/m ³), umidade de 15 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
14,66	1,23	5,24	19,782	5,24	19,372	5,23	18,459	5,26	17,474	5,22	16,833	5,24 0,27%
15,00	1,21	5,16	20,460	5,17	20,142	5,17	20,322	5,19	20,531	5,16	20,313	5,17 0,24%
14,81	1,22	5,07	20,869	5,07	20,176	5,06	21,111	5,07	21,320	5,04	21,233	5,06 0,22%
15,03	1,21	10,16	18,732	10,17	18,033	10,17	18,889	10,16	19,935	10,12	20,566	10,15 0,21%
14,92	1,21	10,24	20,425	10,24	20,012	10,23	20,329	10,27	20,395	10,19	20,093	10,23 0,27%
14,92	1,20	10,09	19,972	10,09	21,129	10,11	21,410	10,09	21,303	10,06	21,138	10,09 0,17%
14,96	1,19	20,29	18,507	20,26	18,895	20,22	19,597	20,34	19,815	19,96	19,627	20,21 0,74%
14,99	1,21	20,12	20,900	20,09	21,401	20,07	21,029	20,15	20,519	19,72	19,887	20,03 0,88%
14,89	1,20	20,07	17,418	20,05	18,690	20,00	18,656	20,11	18,747	19,85	19,648	20,02 0,52%
14,90	1,20	30,49	20,710	30,37	21,408	30,32	21,745	30,45	22,503	30,02	22,559	30,33 0,61%
14,77	1,19	30,09	16,132	29,95	17,560	29,89	19,186	29,97	19,594	29,46	20,193	29,87 0,81%
14,92	1,21	30,39	24,234	30,29	24,273	30,26	24,552	30,37	24,424	29,90	23,532	30,24 0,66%
14,99	1,19	45,38	16,254	45,09	16,714	45,02	17,235	44,66	17,889	44,59	18,790	44,95 0,73%
15,05	1,20	45,20	19,697	44,97	20,169	44,88	21,043	44,67	22,134	44,66	23,152	44,88 0,50%
15,04	1,19	45,32	19,193	45,09	19,950	44,98	20,405	44,65	21,190	44,67	21,957	44,94 0,63%
14,84	1,22	70,73	23,985	70,53	24,432	70,37	24,692	70,52	24,629	70,48	24,708	70,53 0,19%
15,07	1,22	70,72	21,278	70,51	22,246	70,34	23,177	70,49	24,209	70,47	25,093	70,50 0,20%
15,11	1,21	70,68	21,002	70,56	21,524	70,33	21,910	70,38	22,423	70,37	22,625	70,46 0,21%
14,91	1,19	100,77	19,683	100,88	20,566	100,26	21,203	100,44	21,931	100,40	22,385	100,55 0,26%
14,69	1,20	100,68	21,033	100,66	21,179	100,19	21,263	100,37	21,223	100,33	21,320	100,45 0,21%
14,93	1,19	100,73	17,341	100,75	18,256	100,37	19,087	100,56	19,759	100,37	20,248	100,56 0,18%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,88%
14,92	1,20		0,80%		1,00%							Mín. 0,17%

Trat. "B" com 5 golpes (157 kJ/m ³), umidade de 17 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
17,16	1,26	5,21	9,506	5,21	10,109	5,19	10,238	5,21	10,442	5,17	10,754	5,20 0,30%
17,32	1,24	5,29	8,669	5,30	8,729	5,31	8,945	5,31	9,542	5,29	10,337	5,30 0,22%
17,46	1,25	5,32	10,432	5,31	10,559	5,34	10,958	5,34	10,884	5,31	10,797	5,32 0,28%
17,30	1,28	9,89	12,603	9,88	13,226	9,86	13,692	9,90	14,142	9,84	13,770	9,87 0,28%
17,39	1,25	9,94	8,853	9,91	9,539	9,99	9,736	9,97	10,098	9,94	10,541	9,95 0,31%
17,37	1,25	9,81	9,378	9,81	9,616	9,85	9,587	9,83	9,510	9,77	9,911	9,81 0,28%
17,45	1,24	19,95	10,598	19,94	10,289	19,92	10,096	19,97	10,465	19,88	10,799	19,93 0,18%
17,30	1,24	19,91	11,125	19,89	10,998	19,86	10,602	19,90	10,755	19,80	11,162	19,87 0,22%
17,37	1,25	19,92	11,082	19,89	11,015	19,88	10,865	19,92	11,153	19,82	11,271	19,89 0,20%
17,77	1,31	30,60	10,882	30,48	11,228	30,44	11,479	30,55	11,514	30,42	11,754	30,50 0,25%
17,81	1,31	30,45	10,926	30,37	11,331	30,36	11,617	30,45	11,791	30,32	11,540	30,39 0,19%
17,20	1,27	30,78	12,239	30,69	12,295	30,64	12,211	30,76	11,993	30,65	11,897	30,70 0,20%
17,96	1,30	45,13	11,581	44,90	11,901	44,85	12,004	44,99	12,045	44,89	12,113	44,95 0,25%
17,28	1,25	45,35	10,187	45,15	10,527	45,12	10,990	45,27	11,130	45,15	10,907	45,21 0,22%
17,69	1,30	45,17	11,828	44,96	11,993	44,96	12,085	45,09	12,290	44,98	12,325	45,03 0,21%
17,17	1,27	70,58	14,385	70,25	14,768	70,02	15,054	70,20	15,319	69,88	15,420	70,18 0,38%
17,83	1,30	69,98	12,327	69,86	12,324	69,97	12,253	70,17	12,390	70,17	12,657	70,03 0,20%
17,30	1,30	70,57	12,844	70,30	12,842	69,99	13,193	70,13	13,685	70,03	14,400	70,20 0,34%
17,22	1,26	100,77	11,783	100,90	12,058	100,37	12,340	100,47	12,670	100,35	12,983	100,57 0,25%
17,13	1,27	100,82	13,981	100,81	14,219	100,40	14,299	100,51	14,321	100,35	14,368	100,58 0,22%
17,31	1,27	100,63	12,078	100,79	12,346	100,24	12,502	100,32	12,580	100,17	12,606	100,43 0,26%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,38%
17,42	1,27		1,40%		1,85%							Mín. 0,18%

Trat. "B" com 5 golpes (157 kJ/m ³), umidade de 20 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
19,94	1,48	5,09	5,818	5,09	6,499	5,09	6,981	5,09	6,865	5,07	6,469	5,09 0,23%
20,02	1,48	5,11	5,084	5,11	5,744	5,11	6,189	5,12	6,149	5,10	6,009	5,11 0,16%
20,34	1,51	5,13	4,840	5,13	4,840	5,12	5,318	5,14	5,573	5,11	5,629	5,13 0,25%
20,23	1,48	9,92	5,416	9,92	5,066	9,91	4,785	9,91	4,848	9,85	5,056	9,90 0,28%
19,89	1,49	9,88	5,286	9,88	5,261	9,86	5,477	9,90	5,604	9,84	5,727	9,87 0,24%
19,87	1,48	9,83	6,109	9,84	6,178	9,82	6,135	9,85	6,233	9,84	6,181	9,84 0,09%
20,16	1,52	20,20	5,828	20,14	5,926	20,08	5,836	20,21	5,732	20,11	5,834	20,15 0,28%
20,18	1,45	20,11	5,616	20,05	5,837	19,99	5,956	20,13	6,050	20,03	5,981	20,06 0,28%
20,28	1,50	20,11	4,929	20,06	4,949	20,08	4,910	20,12	4,775	20,00	4,855	20,07 0,24%
20,24	1,48	30,74	5,190	30,63	5,313	30,57	5,286	30,70	5,238	30,58	5,151	30,65 0,24%
20,06	1,50	30,74	5,269	30,67	5,220	30,60	5,137	30,70	5,125	30,59	5,250	30,66 0,21%
20,19	1,50	30,69	4,983	30,58	5,069	30,53	5,309	30,70	5,260	30,61	5,112	30,62 0,24%
20,28	1,51	45,53	5,327	45,27	5,290	45,20	5,096	45,32	5,032	45,17	5,205	45,30 0,31%
20,13	1,49	45,45	5,364	45,20	5,578	45,11	5,672	45,28	5,768	45,23	5,745	45,25 0,28%
20,25	1,49	45,47	5,660	45,24	5,550	45,17	5,677	45,33	5,827	45,22	5,945	45,29 0,26%
20,34	1,48	70,58	5,521	70,36	5,281	70,14	5,160	70,08	5,253	69,73	5,371	70,18 0,46%
20,17	1,51	70,69	6,140	70,41	6,039	70,08	5,979	69,95	5,961	69,72	5,991	70,17 0,55%
19,95	1,51	70,48	6,354	70,06	6,176	69,92	6,080	70,01	6,110	69,73	6,187	70,04 0,40%
20,16	1,50	100,50	6,717	100,59	6,537	100,10	6,438	100,17	6,395	100,21	6,407	100,31 0,22%
20,36	1,51	100,61	6,490	100,89	6,315	100,35	6,122	100,33	6,015	100,19	5,990	100,47 0,28%
20,30	1,52	100,50	6,519	100,75	6,357	100,35	6,205	100,40	6,128	100,19	6,166	100,44 0,21%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,55%
20,16	1,50		0,74%		1,08%							Mín. 0,09%

Anexo V – Umidade, densidade do solo, I.C. e Velocidades nos tratamentos.

Trat. "S" com 48 golpes (1506 kJ/m ³), umidade de 13 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
13,11	1,36	5,15	77,188	5,16	76,329	5,16	75,506	5,17	76,437	5,13	78,297	5,15	0,28%
13,19	1,35	5,15	77,388	5,14	77,394	5,13	76,795	5,16	78,314	5,12	79,621	5,14	0,29%
13,14	1,37	5,13	82,033	5,14	81,073	5,12	81,281	5,15	80,383	5,11	79,408	5,13	0,28%
13,16	1,36	9,94	82,145	9,92	80,210	9,88	80,258	10,01	72,062	9,97	66,844	9,94	0,51%
13,64	1,36	9,81	85,006	9,79	84,420	9,75	85,417	9,83	85,043	9,77	84,181	9,79	0,32%
13,11	1,36	9,76	83,729	9,75	83,564	9,71	84,329	9,76	83,959	9,70	82,467	9,73	0,28%
13,03	1,36	20,17	86,093	20,08	84,887	20,04	84,625	20,13	84,040	20,08	82,298	20,10	0,25%
13,02	1,36	20,20	83,722	20,13	84,433	20,08	84,449	20,20	83,530	20,12	81,603	20,15	0,28%
13,03	1,38	20,43	92,458	20,36	91,661	20,29	92,134	20,41	91,852	20,35	90,361	20,37	0,26%
12,74	1,36	30,47	93,646	30,31	91,854	30,25	88,153	30,43	86,760	30,35	85,337	30,36	0,29%
12,97	1,36	30,49	86,242	30,30	85,034	30,26	85,821	30,42	86,126	30,40	85,124	30,37	0,31%
13,07	1,37	30,43	90,998	30,31	89,192	30,27	88,083	30,42	87,983	30,41	87,103	30,37	0,24%
12,95	1,38	45,29	94,900	45,18	95,312	45,11	96,998	45,18	100,829	45,21	102,636	45,19	0,14%
12,76	1,37	45,36	90,500	45,14	89,920	44,95	91,280	45,09	92,828	45,12	92,389	45,13	0,33%
12,88	1,36	45,36	90,864	45,15	89,289	45,03	88,277	45,18	88,158	45,15	87,258	45,17	0,26%
12,93	1,35	70,44	93,094	70,33	94,602	69,86	95,671	69,41	96,865	69,54	97,264	69,92	0,66%
12,93	1,36	70,41	92,526	70,19	92,292	70,00	93,048	70,01	94,118	69,54	93,733	70,03	0,46%
12,87	1,35	70,22	83,982	70,11	82,297	69,90	82,152	69,50	82,283	69,51	81,824	69,85	0,48%
12,91	1,36	100,04	96,051	100,45	95,993	100,20	95,795	100,42	96,304	100,69	96,781	100,36	0,25%
12,95	1,36	100,84	91,334	101,16	93,478	100,68	94,949	100,69	96,390	100,69	97,051	100,81	0,20%
12,80	1,36	100,93	92,701	100,96	94,565	100,26	96,582	100,21	98,519	100,26	98,878	100,52	0,38%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,66%
13,01	1,36		1,48%		0,54%							Mín.	0,14%

Trat. "S" com 48 golpes (1506 kJ/m ³), umidade de 15 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
15,07	1,52	5,19	55,214	5,16	56,437	5,16	56,495	5,19	55,123	5,19	54,678	5,18	0,32%
15,11	1,50	5,20	56,319	5,16	53,783	5,19	52,639	5,20	52,491	5,20	52,237	5,19	0,33%
14,84	1,54	5,23	57,310	5,21	54,338	5,19	55,140	5,23	56,869	5,20	56,815	5,21	0,36%
14,92	1,51	9,95	65,048	9,92	64,033	9,87	63,988	9,96	65,697	9,92	65,516	9,92	0,34%
15,02	1,51	9,95	57,823	9,90	58,708	9,87	60,612	9,94	61,244	9,94	59,416	9,92	0,35%
14,72	1,50	9,84	66,338	9,83	67,201	9,78	67,669	9,87	65,894	9,81	63,499	9,82	0,35%
14,83	1,52	20,17	67,104	20,06	67,709	20,04	67,076	20,14	67,301	20,08	66,786	20,10	0,28%
14,99	1,52	20,05	66,104	19,97	65,152	19,92	63,900	20,05	65,026	19,98	66,259	19,99	0,28%
14,74	1,51	19,98	66,989	19,90	65,848	19,86	65,023	20,00	63,622	19,96	60,662	19,94	0,29%
15,03	1,52	30,48	63,891	30,32	61,759	30,27	59,630	30,40	59,828	30,38	61,767	30,37	0,26%
14,93	1,52	30,43	67,172	30,30	67,588	30,28	68,369	30,42	67,829	30,42	64,836	30,37	0,24%
15,02	1,52	30,37	67,161	30,23	69,142	30,19	67,813	30,36	65,941	30,30	64,565	30,29	0,26%
14,92	1,48	45,40	61,582	45,13	62,218	45,02	63,463	44,94	64,647	45,02	63,938	45,10	0,40%
14,99	1,50	45,43	63,093	45,19	64,259	45,09	64,338	44,93	63,514	44,81	62,447	45,09	0,54%
15,17	1,50	45,50	64,155	45,30	63,221	45,23	62,106	44,81	62,715	44,89	63,666	45,15	0,64%
14,86	1,50	70,61	61,866	70,54	62,436	70,34	62,323	70,51	62,982	70,46	63,982	70,49	0,14%
14,97	1,52	70,72	66,777	70,66	68,081	70,40	67,223	70,58	65,455	70,50	64,705	70,57	0,18%
14,80	1,50	70,70	62,317	70,64	63,190	70,48	63,499	70,63	63,836	70,52	64,256	70,59	0,13%
14,78	1,52	100,77	72,707	100,86	73,666	100,50	74,560	100,37	75,686	100,47	75,232	100,59	0,21%
14,71	1,52	101,00	67,556	101,09	68,302	100,51	67,536	100,28	67,196	100,33	67,561	100,64	0,38%
14,97	1,55	101,05	68,777	101,14	70,977	100,68	71,137	100,47	70,539	100,60	70,984	100,79	0,29%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,64%
14,92	1,51		0,87%		1,02%							Mín.	0,13%

Trat. "S" com 48 golpes (1506 kJ/m ³), umidade de 17 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
19,02	1,59	5,02	6,450	5,02	6,508	5,01	6,410	5,04	6,506	5,00	6,913	5,02 0,34%
18,60	1,60	5,08	7,968	5,08	8,001	5,06	7,754	5,09	7,915	5,05	7,961	5,07 0,31%
18,60	1,59	5,10	7,428	5,10	7,141	5,08	6,939	5,11	6,936	5,08	7,061	5,09 0,27%
18,67	1,59	10,04	8,138	10,01	7,958	9,96	8,250	10,05	8,357	9,97	8,082	10,01 0,37%
18,25	1,60	10,04	7,846	10,04	8,289	10,02	9,151	10,09	9,230	10,01	9,014	10,04 0,31%
18,72	1,59	10,02	7,900	10,02	8,751	9,99	9,552	10,04	8,960	9,96	8,639	10,01 0,31%
18,24	1,61	20,49	11,282	20,37	11,323	20,33	10,753	20,43	10,135	20,37	9,891	20,40 0,32%
17,89	1,65	20,46	13,558	20,34	13,352	20,32	13,052	20,39	12,934	20,39	12,682	20,38 0,26%
18,27	1,61	20,66	9,515	20,52	9,903	20,42	9,829	20,52	9,805	20,40	10,112	20,50 0,50%
18,02	1,62	30,89	12,113	31,09	12,284	31,26	12,150	31,12	11,734	30,64	11,412	31,00 0,78%
18,35	1,60	30,37	11,831	30,45	11,966	30,53	11,925	30,71	11,343	31,05	10,193	30,62 0,88%
18,01	1,61	31,04	11,365	30,89	10,419	30,85	9,529	31,02	9,278	30,91	9,065	30,94 0,27%
18,62	1,60	44,86	10,544	44,61	11,388	44,58	12,066	44,71	11,914	44,06	11,461	44,56 0,68%
18,97	1,58	44,83	7,714	44,61	7,878	44,57	8,849	44,69	9,670	44,04	9,821	44,55 0,67%
19,03	1,58	45,02	11,822	44,80	11,477	44,75	10,683	44,88	10,077	44,25	9,931	44,74 0,66%
19,16	1,58	70,12	8,314	69,61	9,111	69,56	9,782	69,77	9,810	69,74	9,555	69,76 0,31%
19,88	1,57	69,98	10,299	69,86	11,403	69,72	12,459	69,89	13,295	69,89	13,765	69,87 0,14%
18,71	1,59	70,20	9,344	69,85	9,345	69,67	9,977	69,96	10,606	69,97	10,527	69,93 0,27%
17,94	1,62	100,59	12,911	100,59	12,900	99,91	13,168	99,89	13,468	100,12	13,846	100,22 0,35%
18,42	1,61	100,22	12,448	100,50	13,259	100,12	14,354	100,01	15,091	99,99	15,349	100,17 0,21%
18,59	1,60	100,32	10,787	100,44	10,793	99,96	11,235	99,68	11,631	99,77	11,567	100,04 0,34%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,88%
18,57	1,60		2,57%		1,12%							Mín. 0,14%

Trat. "S" com 48 golpes (1506 kJ/m ³), umidade de 20 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
19,53	1,57	5,01	6,348	5,01	5,886	4,99	5,547	5,02	5,723	4,98	6,062	5,00 0,31%
19,74	1,56	5,02	5,902	5,02	5,922	5,01	5,970	5,04	5,868	5,00	5,721	5,02 0,26%
19,62	1,56	5,05	5,533	5,05	5,576	5,05	5,784	5,04	6,313	5,01	6,487	5,04 0,30%
19,81	1,55	10,06	6,520	10,05	6,425	10,03	6,394	10,08	6,229	10,01	6,139	10,05 0,25%
19,60	1,56	10,05	6,403	10,03	5,780	10,00	5,362	10,07	5,643	10,01	6,134	10,03 0,28%
19,57	1,55	9,97	6,130	9,97	6,218	9,97	6,303	9,99	6,116	9,91	5,868	9,96 0,29%
19,81	1,55	20,56	6,970	20,50	6,938	20,44	6,726	20,57	6,515	20,46	6,582	20,51 0,30%
19,74	1,55	20,36	6,246	20,33	6,576	20,29	6,718	20,40	6,804	20,31	6,795	20,34 0,21%
19,71	1,55	20,43	5,884	20,39	6,050	20,36	6,071	20,46	5,898	20,35	5,974	20,40 0,23%
19,65	1,56	31,02	6,493	30,83	6,505	30,77	6,716	30,92	7,047	30,80	7,002	30,87 0,33%
19,54	1,55	30,93	6,203	30,84	6,414	30,80	6,660	30,92	6,787	30,74	6,715	30,85 0,26%
19,64	1,54	30,94	6,492	30,85	6,509	30,81	6,416	30,92	6,276	30,74	6,276	30,85 0,26%
19,49	1,56	45,63	6,592	45,39	6,390	45,32	6,485	45,35	6,712	44,79	6,956	45,30 0,68%
19,77	1,54	45,56	5,926	45,37	5,830	45,36	5,789	45,23	5,886	44,80	6,013	45,27 0,63%
19,60	1,55	45,59	5,548	45,38	5,432	45,35	5,781	45,19	6,430	44,74	6,867	45,25 0,70%
20,20	1,53	70,57	7,243	70,28	7,038	70,00	6,765	70,11	6,574	70,10	6,385	70,21 0,32%
19,56	1,56	70,47	6,286	70,18	6,405	69,92	6,550	70,06	6,581	70,03	6,403	70,13 0,30%
19,79	1,55	70,34	6,264	70,02	6,024	69,85	6,199	70,02	6,529	69,95	6,663	70,04 0,26%
19,22	1,57	100,91	6,915	100,72	6,710	100,33	6,617	100,56	6,720	100,28	7,018	100,56 0,26%
19,75	1,55	100,82	7,919	100,76	8,389	100,35	8,967	100,49	9,446	100,40	9,454	100,56 0,21%
19,66	1,55	100,93	5,981	100,48	6,027	100,33	6,132	100,33	6,222	100,20	6,250	100,46 0,28%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,70%
19,67	1,55		0,93%		0,58%							Mín. 0,21%

Trat. "A" com 32 golpes (1004 kJ/m ³), umidade de 13 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
12,99	1,32	5,09	70,146	5,10	69,250	5,08	70,024	5,10	71,039	5,06	70,811	5,09 0,28%
13,00	1,28	4,96	64,875	4,96	62,821	4,99	61,163	4,97	60,240	4,95	59,921	4,97 0,28%
12,93	1,31	5,01	71,592	5,01	71,552	5,00	72,042	5,01	72,582	4,98	72,638	5,00 0,24%
12,91	1,31	9,93	73,457	9,91	74,136	9,89	73,642	9,97	73,954	9,89	74,470	9,92 0,36%
12,92	1,31	9,85	68,417	9,84	70,925	9,82	71,592	9,89	71,243	9,81	71,196	9,84 0,34%
13,02	1,30	9,94	68,226	9,92	69,115	9,88	70,698	9,93	73,047	9,86	74,486	9,90 0,34%
13,09	1,31	19,94	68,252	19,87	68,567	19,82	68,937	19,97	69,743	19,89	69,730	19,90 0,29%
13,08	1,29	19,80	70,352	19,75	70,797	19,71	71,009	19,83	72,004	19,74	72,719	19,77 0,25%
12,89	1,30	19,79	66,186	19,73	66,195	19,67	66,128	19,80	67,114	19,70	68,226	19,74 0,27%
12,97	1,30	30,31	69,021	30,21	69,531	30,21	69,755	30,35	70,005	30,23	70,238	30,26 0,20%
12,90	1,30	30,42	66,044	30,32	67,820	30,27	67,941	30,45	67,676	30,42	66,761	30,38 0,26%
12,89	1,30	30,39	67,857	30,26	68,988	30,24	70,019	30,42	71,674	30,33	71,752	30,33 0,25%
12,99	1,31	45,39	65,338	45,15	69,500	45,10	70,833	45,30	70,787	45,20	69,998	45,23 0,26%
12,81	1,30	45,44	67,625	45,26	70,869	45,15	71,445	45,30	71,654	45,24	71,588	45,28 0,23%
12,93	1,30	45,46	63,965	45,27	66,174	45,14	68,162	45,32	69,668	45,33	70,019	45,31 0,26%
13,01	1,31	70,43	71,648	70,24	74,534	69,47	75,867	69,50	76,875	69,76	77,981	69,88 0,62%
12,95	1,31	70,42	66,007	69,65	68,562	69,57	70,058	70,00	70,643	70,13	70,583	69,95 0,50%
13,36	1,31	70,67	66,105	70,24	68,436	69,41	70,091	69,83	71,852	70,14	73,540	70,06 0,67%
12,99	1,30	100,38	62,335	100,52	64,494	100,19	64,835	100,31	66,771	100,44	68,574	100,37 0,12%
13,19	1,29	100,35	61,821	100,66	65,377	100,24	67,819	100,53	69,025	100,62	69,485	100,48 0,18%
12,87	1,29	100,47	65,165	100,80	67,966	100,42	69,807	100,67	71,256	100,56	72,145	100,58 0,15%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,67%
12,99	1,30		0,93%		0,66%							Mín. 0,12%

Trat. "A" com 32 golpes (1004 kJ/m ³), umidade de 15 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
14,84	1,39	5,14	43,519	5,14	44,616	5,13	44,907	5,15	44,558	5,14	46,209	5,14	0,14%
14,81	1,38	5,05	36,371	5,05	37,436	5,03	40,277	5,05	42,987	5,02	45,873	5,04	0,30%
14,76	1,40	5,03	45,098	5,04	47,341	5,03	47,989	5,05	47,454	5,01	48,024	5,03	0,25%
14,61	1,39	9,90	41,132	9,88	41,677	9,86	43,440	9,90	44,581	9,84	47,167	9,88	0,25%
14,65	1,38	9,93	37,114	9,91	36,917	9,86	39,383	9,91	41,922	9,84	44,514	9,89	0,40%
14,65	1,39	9,90	44,520	9,91	45,812	9,88	47,695	9,91	50,008	9,84	51,782	9,89	0,28%
14,46	1,37	20,11	46,562	20,06	47,255	20,00	48,252	20,08	49,782	20,00	51,265	20,05	0,25%
14,78	1,38	20,07	47,126	20,01	47,924	19,97	48,250	20,12	49,441	20,04	51,215	20,04	0,29%
14,67	1,39	20,12	39,777	20,06	41,942	20,02	43,803	20,11	45,987	20,00	50,023	20,06	0,28%
15,10	1,41	30,57	51,811	30,45	54,084	30,43	54,290	30,60	52,853	30,48	54,005	30,50	0,25%
14,96	1,40	30,65	53,270	30,48	54,423	30,44	54,254	30,61	53,613	30,52	54,280	30,54	0,29%
14,21	1,39	30,34	53,379	30,17	53,495	30,10	54,383	30,24	56,297	30,18	58,046	30,20	0,30%
14,55	1,38	45,16	45,979	44,85	46,984	44,70	48,692	44,90	50,159	44,86	51,873	44,89	0,37%
14,81	1,39	45,16	46,175	44,93	45,933	44,85	46,773	44,98	48,020	44,90	49,506	44,96	0,27%
14,69	1,38	45,14	50,243	44,88	51,088	44,78	52,176	44,91	52,966	44,83	53,419	44,91	0,31%
14,66	1,40	70,35	52,332	70,43	52,565	70,19	52,778	70,33	52,412	70,24	51,883	70,31	0,14%
14,57	1,40	70,24	48,281	70,17	50,218	69,99	52,602	70,18	53,285	70,08	52,872	70,13	0,14%
14,43	1,40	70,16	51,469	70,17	52,379	70,14	52,769	70,24	52,952	70,12	53,587	70,17	0,06%
14,53	1,40	100,17	61,804	100,27	60,430	99,65	58,682	99,71	56,686	99,55	55,220	99,87	0,33%
14,34	1,39	99,94	48,483	100,04	48,960	99,37	49,298	99,44	49,151	99,30	49,107	99,62	0,35%
14,27	1,37	99,85	56,240	99,97	57,530	99,50	58,229	99,46	58,396	99,46	58,367	99,65	0,24%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,40%
14,64	1,39		1,50%		0,77%							Mín.	0,06%

Trat. "A" com 32 golpes (1004 kJ/m ³), umidade de 17 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
17,25	1,57	5,13	20,418	5,12	20,278	5,09	21,042	5,14	21,873	5,11	22,230	5,12	0,36%
17,11	1,60	5,19	22,439	5,19	22,935	5,17	23,615	5,20	23,688	5,17	24,730	5,18	0,27%
16,99	1,57	5,14	21,008	5,13	21,829	5,14	22,240	5,15	22,683	5,12	23,119	5,14	0,21%
17,69	1,60	10,27	22,271	10,23	22,181	10,19	20,774	10,27	19,496	10,22	19,896	10,24	0,34%
17,58	1,60	10,11	21,462	10,10	21,123	10,12	20,670	10,14	21,061	10,08	21,865	10,11	0,21%
16,96	1,57	9,90	23,605	9,86	23,411	9,83	23,358	9,93	23,648	9,90	23,707	9,88	0,37%
16,84	1,58	20,15	23,938	20,02	24,487	20,02	24,381	20,09	24,513	20,07	24,755	20,07	0,26%
16,81	1,57	20,16	25,638	20,11	26,122	20,05	26,080	20,19	25,678	20,12	25,934	20,12	0,28%
16,69	1,60	20,10	24,643	20,06	25,295	20,01	25,533	20,12	25,708	20,03	26,616	20,06	0,24%
16,78	1,62	30,58	27,279	30,41	27,480	30,34	28,358	30,46	28,900	30,48	28,790	30,46	0,29%
16,75	1,61	30,54	28,432	30,41	28,482	30,33	28,143	30,48	28,060	30,38	28,034	30,43	0,28%
16,84	1,61	30,59	27,945	30,41	28,432	30,39	28,790	30,51	29,207	30,43	29,225	30,47	0,27%
16,76	1,59	45,52	26,573	45,28	27,244	45,23	27,348	45,39	27,446	45,35	27,830	45,35	0,24%
17,57	1,60	45,11	23,256	44,83	24,039	44,72	24,374	44,85	24,729	44,55	25,100	44,81	0,46%
16,70	1,60	45,56	27,682	45,32	28,418	45,27	28,642	45,41	28,134	45,37	27,889	45,39	0,25%
16,64	1,59	70,24	29,032	70,36	29,045	70,16	29,424	70,31	29,378	70,30	29,256	70,28	0,11%
16,56	1,60	70,71	28,282	70,49	29,087	69,99	29,716	69,91	29,710	70,03	29,592	70,23	0,50%
16,90	1,59	70,61	28,331	70,57	28,458	69,87	28,971	69,88	29,511	69,98	30,021	70,18	0,54%
16,99	1,60	100,50	30,447	100,61	31,071	100,11	31,168	100,24	30,837	100,28	30,781	100,35	0,20%
16,87	1,62	100,59	30,048	100,68	30,518	100,01	30,766	100,12	30,937	100,10	30,902	100,30	0,31%
16,72	1,62	100,54	30,753	100,68	31,333	100,07	31,538	100,08	31,556	100,06	31,519	100,28	0,30%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,54%
16,95	1,60		1,88%		1,02%							Mín.	0,11%

Trat. "A" com 32 golpes (1004 kJ/m ³), umidade de 20 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
20,28	1,54	5,14	4,555	5,14	4,406	5,13	4,497	5,17	4,687	5,13	5,047	5,14 0,29%
20,01	1,54	5,12	5,274	5,13	5,419	5,12	5,419	5,14	5,140	5,11	4,916	5,12 0,25%
20,15	1,54	5,10	4,918	5,11	4,924	5,10	5,037	5,11	5,235	5,09	5,414	5,10 0,20%
20,16	1,54	10,11	5,037	10,09	5,191	10,05	5,292	10,11	5,171	10,05	5,188	10,08 0,31%
20,28	1,54	10,05	5,027	10,03	5,137	9,99	5,463	10,06	5,647	9,99	5,531	10,02 0,33%
20,12	1,54	10,11	4,909	10,10	5,032	10,06	5,209	10,12	5,449	10,06	5,407	10,09 0,28%
20,23	1,54	20,28	4,828	20,24	4,898	20,21	5,167	20,26	5,544	20,15	5,752	20,23 0,25%
20,28	1,54	20,18	5,282	20,12	5,255	20,07	5,335	20,18	5,289	20,09	4,989	20,13 0,26%
20,23	1,54	20,12	5,226	20,11	5,280	20,07	5,040	20,14	4,729	20,01	4,577	20,09 0,25%
20,04	1,56	30,52	5,368	30,36	5,362	30,32	5,488	30,46	5,563	30,43	5,704	30,42 0,26%
20,25	1,54	30,52	5,398	30,41	5,444	30,36	5,344	30,49	5,156	30,35	5,052	30,42 0,25%
20,08	1,54	30,61	5,463	30,50	5,439	30,45	5,240	30,60	5,120	30,50	5,251	30,53 0,23%
20,41	1,53	45,42	4,820	45,21	5,332	45,15	4,995	45,20	4,805	45,09	5,016	45,21 0,27%
20,25	1,53	45,40	5,412	45,24	5,374	45,16	5,069	45,34	4,997	45,31	5,248	45,29 0,21%
20,42	1,52	45,40	4,728	45,35	4,577	45,16	4,552	45,10	4,576	45,15	4,541	45,23 0,30%
20,33	1,54	70,38	6,277	70,15	6,238	69,99	6,312	70,16	6,377	69,87	6,360	70,11 0,28%
20,04	1,53	70,32	5,630	70,13	5,563	70,02	5,510	70,23	5,370	69,73	5,189	70,08 0,32%
20,23	1,54	70,46	5,678	70,26	5,728	70,08	5,742	70,15	5,669	69,63	5,542	70,12 0,44%
20,24	1,54	100,54	6,268	100,56	6,189	100,19	6,169	100,37	6,186	100,33	6,191	100,40 0,15%
20,13	1,54	100,68	6,446	100,62	6,370	100,05	6,192	100,17	5,942	100,10	5,725	100,32 0,30%
20,28	1,53	100,63	6,034	100,61	6,016	100,05	5,993	100,08	5,990	100,17	5,981	100,31 0,29%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,44%
20,21	1,54		0,56%		0,44%							Mín. 0,15%

Trat. "M" com 19 golpes (596 kJ/m ³), umidade de 13 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
12,97	1,30	5,09	60,186	5,09	59,789	5,07	59,633	5,10	58,155	5,07	56,151	5,08	0,31%
13,13	1,27	5,08	54,219	5,07	57,365	5,06	57,036	5,09	56,239	5,05	55,330	5,07	0,30%
13,13	1,28	5,09	56,427	5,09	56,442	5,05	56,522	5,11	56,624	5,07	57,299	5,08	0,41%
12,92	1,28	9,96	58,595	9,94	59,264	9,91	59,543	9,99	59,905	9,92	59,155	9,95	0,29%
13,06	1,28	10,00	56,665	9,96	57,514	9,93	58,257	9,99	60,630	9,94	60,851	9,96	0,33%
13,08	1,28	10,03	54,943	10,03	55,513	9,97	55,690	10,06	54,991	9,99	54,801	10,02	0,36%
13,08	1,28	19,98	57,285	19,95	58,192	19,88	57,622	20,01	56,719	19,92	56,087	19,95	0,25%
13,25	1,27	19,96	52,044	19,86	53,061	19,80	54,139	19,90	56,799	19,82	58,310	19,87	0,31%
13,03	1,28	19,88	62,500	19,84	63,573	19,78	64,314	19,89	64,842	19,80	64,708	19,84	0,24%
13,18	1,28	30,37	62,610	30,31	62,531	30,29	62,033	30,43	61,519	30,29	60,919	30,34	0,20%
13,08	1,28	30,45	57,752	30,28	59,901	30,29	59,348	30,51	51,303	30,49	46,131	30,40	0,36%
13,19	1,29	30,38	62,409	30,29	62,189	30,30	61,396	30,43	60,805	30,31	60,267	30,34	0,21%
12,87	1,28	45,27	58,225	45,04	58,808	44,97	58,568	45,11	58,678	45,07	59,225	45,09	0,25%
13,11	1,28	45,30	62,880	45,03	63,992	44,98	64,473	45,11	64,608	45,05	64,396	45,10	0,27%
13,12	1,28	45,31	61,119	45,10	63,189	45,07	63,672	45,16	63,779	45,01	63,194	45,13	0,25%
12,77	1,27	70,44	57,386	70,22	58,556	69,70	59,018	69,48	59,574	69,69	60,402	69,90	0,58%
12,79	1,28	70,45	58,368	70,35	60,583	69,92	61,491	69,43	61,500	69,54	61,541	69,94	0,66%
12,83	1,27	70,39	51,406	70,08	54,580	69,35	56,911	69,53	58,453	69,75	59,462	69,82	0,60%
13,05	1,27	101,11	55,399	101,30	58,151	100,68	59,493	100,72	60,437	100,72	61,384	100,91	0,28%
12,89	1,27	100,92	55,508	101,11	57,527	100,50	58,669	100,53	59,793	100,53	60,849	100,72	0,28%
12,82	1,29	101,23	65,707	101,31	67,587	100,69	67,811	100,74	67,796	100,74	67,905	100,94	0,30%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,66%
13,02	1,28		1,09%		0,50%							Mín.	0,20%

Trat. "M" com 19 golpes (596 kJ/m ³), umidade de 15 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
15,07	1,34	4,93	38,339	4,93	39,885	4,91	40,805	4,93	41,940	4,89	42,186	4,92	0,33%
15,03	1,33	4,92	37,579	4,92	38,541	4,92	38,667	4,93	40,008	4,89	39,233	4,92	0,29%
15,05	1,35	4,99	43,197	4,99	43,600	5,01	42,940	5,00	43,030	4,98	42,932	4,99	0,23%
14,83	1,34	9,82	40,887	9,82	42,339	9,78	43,032	9,83	44,194	9,77	44,784	9,80	0,28%
14,88	1,34	9,87	42,172	9,85	43,010	9,81	43,436	9,84	44,198	9,78	43,592	9,83	0,37%
14,95	1,33	9,76	38,704	9,77	38,474	9,76	38,833	9,76	40,851	9,72	42,891	9,75	0,21%
14,86	1,33	19,96	38,736	19,91	39,173	19,84	40,050	19,94	41,564	19,83	42,765	19,89	0,30%
14,87	1,33	20,08	38,876	20,03	39,459	19,99	40,022	20,06	41,646	19,95	44,155	20,02	0,27%
14,92	1,31	20,02	37,283	19,96	39,207	19,94	41,027	19,97	42,771	19,80	44,209	19,94	0,41%
14,14	1,34	30,59	40,194	30,46	41,652	30,38	42,746	30,46	44,015	30,21	44,809	30,42	0,45%
15,04	1,32	30,52	38,552	30,35	39,931	30,31	40,722	30,45	41,326	30,29	42,301	30,38	0,32%
14,61	1,32	30,75	40,823	30,65	42,589	30,61	43,599	30,75	44,127	30,60	44,535	30,67	0,23%
14,73	1,33	45,59	44,151	45,32	44,969	45,27	46,277	45,11	47,201	44,91	47,598	45,24	0,56%
14,67	1,33	45,57	42,588	45,34	43,772	45,25	45,015	45,19	46,374	44,83	47,179	45,24	0,59%
14,80	1,34	45,64	42,049	45,38	42,711	45,32	42,786	45,39	42,781	44,83	43,478	45,31	0,65%
14,55	1,33	70,05	44,999	70,00	44,962	69,87	44,900	70,03	45,844	69,93	47,079	69,98	0,11%
14,75	1,35	70,22	51,541	70,08	53,184	69,82	54,633	69,96	55,986	69,94	56,700	70,00	0,22%
14,66	1,34	70,30	43,706	70,28	44,084	69,94	44,723	70,04	45,677	69,98	47,195	70,11	0,24%
14,42	1,31	100,13	42,032	100,22	44,055	99,77	45,815	99,64	47,168	99,60	48,071	99,87	0,29%
14,43	1,33	99,85	45,993	100,04	47,583	99,64	48,909	99,55	49,914	99,55	50,784	99,73	0,21%
14,47	1,35	100,29	43,409	100,27	44,955	99,88	46,785	99,76	48,224	99,71	49,143	99,98	0,28%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,65%
14,75	1,33		1,68%		0,83%							Mín.	0,11%

Trat. "M" com 19 golpes (596 kJ/m ³), umidade de 17 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
17,40	1,47	5,06	19,651	5,07	19,545	5,08	19,158	5,08	19,268	5,05	19,243	5,07	0,25%
17,31	1,49	5,05	20,432	5,05	21,011	5,03	20,723	5,05	21,201	5,02	21,421	5,04	0,29%
17,38	1,49	5,06	18,151	5,07	19,686	5,05	20,032	5,07	20,930	5,03	22,082	5,05	0,33%
17,60	1,48	10,02	20,895	10,01	22,052	9,98	22,170	10,04	22,044	9,96	21,842	10,00	0,30%
17,30	1,50	9,91	21,192	9,89	21,360	9,85	20,552	9,94	20,185	9,90	20,454	9,90	0,33%
17,27	1,51	9,89	21,318	9,89	21,846	9,88	21,756	9,91	22,115	9,85	21,913	9,88	0,24%
17,42	1,50	20,03	22,047	20,01	23,033	19,99	23,014	20,05	22,855	19,91	22,800	20,00	0,27%
17,49	1,49	19,89	21,080	19,84	21,258	19,78	21,307	19,89	22,076	19,79	22,603	19,84	0,27%
17,37	1,49	19,96	20,877	19,92	21,197	19,87	21,365	19,97	21,658	19,87	21,410	19,92	0,23%
17,45	1,49	30,45	21,062	30,34	21,931	30,32	22,075	30,43	22,247	30,31	22,166	30,37	0,21%
17,30	1,50	30,38	22,129	30,27	21,993	30,25	20,933	30,36	21,024	30,22	21,998	30,30	0,23%
17,27	1,50	30,24	20,768	30,14	20,827	30,15	20,910	30,35	21,719	30,29	21,597	30,23	0,30%
17,49	1,48	45,56	21,261	45,30	22,320	45,25	21,996	45,39	21,155	45,25	21,398	45,35	0,29%
17,51	1,50	45,44	22,235	45,21	22,626	45,14	22,937	45,30	22,952	45,20	23,430	45,26	0,26%
17,42	1,49	45,51	21,444	45,30	22,018	45,15	22,114	45,24	22,111	45,22	22,062	45,28	0,31%
17,38	1,49	70,22	22,531	70,01	22,742	69,41	22,593	69,73	22,537	69,79	22,748	69,83	0,43%
17,32	1,48	70,24	20,708	70,15	21,054	69,69	21,217	69,43	21,298	69,43	21,511	69,79	0,55%
17,34	1,49	70,16	21,529	70,00	22,187	69,39	22,512	69,89	22,629	69,65	22,769	69,82	0,44%
17,52	1,51	100,86	23,707	100,93	24,224	100,19	24,553	100,28	24,811	100,24	24,865	100,50	0,36%
17,47	1,51	100,91	21,475	100,92	22,037	100,37	22,388	100,51	22,754	100,42	23,333	100,63	0,27%
17,49	1,48	100,59	21,460	100,77	21,620	100,42	21,502	100,58	21,230	100,47	21,120	100,56	0,14%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,55%
17,40	1,49		0,53%		0,69%							Mín.	0,14%

Trat. "M" com 19 golpes (596 kJ/m ³), umidade de 20 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
20,04	1,55	5,02	3,683	5,02	4,358	5,13	5,026	5,17	4,871	5,13	4,760	5,10 1,36%
19,95	1,56	5,06	4,203	5,06	4,405	5,05	4,843	5,08	5,312	5,05	5,184	5,06 0,28%
20,00	1,56	5,10	4,847	5,09	5,047	5,07	5,123	5,10	4,679	5,07	4,414	5,09 0,32%
20,02	1,56	10,01	6,101	9,99	5,650	9,96	4,976	9,99	4,561	9,92	4,516	9,97 0,36%
20,16	1,56	10,10	4,314	10,09	4,462	10,07	4,633	10,13	4,686	10,07	4,607	10,09 0,28%
20,29	1,55	9,94	5,335	9,93	5,577	9,89	5,519	9,96	4,673	9,90	4,495	9,92 0,29%
19,90	1,58	20,08	6,308	20,02	5,790	20,00	5,232	20,12	5,039	20,02	5,184	20,05 0,25%
19,89	1,57	20,07	5,009	20,00	5,286	19,96	5,292	20,10	5,313	20,02	5,220	20,03 0,28%
19,96	1,56	20,03	5,437	20,00	5,085	19,98	4,690	20,07	4,454	19,94	4,632	20,00 0,24%
19,98	1,56	30,64	5,137	30,56	5,252	30,50	5,233	30,60	5,134	30,46	4,990	30,55 0,24%
19,93	1,56	30,58	5,807	30,47	6,172	30,43	6,146	30,56	5,739	30,34	5,217	30,48 0,32%
19,96	1,56	30,63	5,106	30,54	5,024	30,50	5,142	30,58	5,213	30,47	5,205	30,54 0,21%
19,98	1,56	45,39	4,925	45,16	5,519	45,09	6,173	45,19	6,105	45,04	5,551	45,17 0,29%
19,99	1,56	45,33	5,001	45,13	4,968	45,10	5,098	45,27	5,093	45,17	4,954	45,20 0,21%
19,79	1,56	45,41	5,481	45,17	5,342	45,16	5,168	45,33	5,191	45,20	5,369	45,25 0,25%
19,86	1,57	70,49	6,435	70,38	6,373	70,06	6,075	70,03	5,705	69,43	5,453	70,08 0,59%
19,83	1,56	70,46	5,513	70,18	5,500	70,05	5,437	70,22	5,193	69,63	4,917	70,11 0,43%
19,92	1,56	70,49	5,438	70,31	5,454	70,16	5,481	70,30	5,471	69,56	5,520	70,16 0,51%
20,00	1,57	100,66	5,943	100,72	5,922	100,26	5,952	100,47	6,015	100,42	6,053	100,50 0,19%
19,74	1,57	100,50	6,523	100,61	6,489	100,15	6,496	100,37	6,432	100,37	6,404	100,40 0,17%
19,91	1,56	100,34	6,331	100,40	6,216	99,92	6,059	100,10	5,911	100,12	5,877	100,18 0,19%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 1,36%
19,96	1,56		0,59%		0,38%							Mín. 0,17%

Trat. "I" com 11 golpes (345 kJ/m ³), umidade de 13 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
12,30	1,27	5,00	54,127	5,00	54,618	4,98	54,789	5,00	54,162	4,97	54,398	4,99	0,32%
12,35	1,27	5,04	51,979	5,02	52,758	5,00	53,650	5,04	54,273	5,01	54,807	5,02	0,38%
12,33	1,26	5,07	53,233	5,08	55,376	5,07	55,722	5,09	55,268	5,05	54,344	5,07	0,30%
12,29	1,26	9,88	49,906	9,84	47,850	9,90	38,437	9,95	37,680	9,92	37,141	9,90	0,41%
12,27	1,26	9,85	50,104	9,82	47,105	9,78	41,735	9,86	41,064	9,85	40,386	9,83	0,32%
12,18	1,26	9,88	51,279	9,84	51,734	9,81	51,777	9,90	50,445	9,86	48,960	9,86	0,37%
12,33	1,26	20,15	52,510	20,15	46,510	20,13	41,303	20,23	38,282	20,14	35,636	20,16	0,20%
12,49	1,26	20,42	52,979	20,34	54,037	20,29	54,116	20,37	53,726	20,29	53,665	20,34	0,27%
12,06	1,25	20,08	52,680	20,01	53,379	20,02	53,324	20,11	53,115	20,00	52,752	20,04	0,24%
12,40	1,25	30,81	46,068	30,71	44,872	30,66	42,695	30,81	42,663	30,72	42,164	30,74	0,22%
12,36	1,27	31,00	52,041	30,83	50,522	30,85	45,512	30,98	41,726	30,95	40,496	30,92	0,25%
12,54	1,26	30,91	48,118	30,73	47,846	30,72	45,683	30,83	44,606	30,84	44,129	30,81	0,26%
12,39	1,27	45,51	52,664	45,36	49,491	45,27	42,805	45,34	39,486	45,38	38,326	45,37	0,19%
12,25	1,27	45,47	50,757	45,26	49,219	45,27	43,553	45,42	39,719	45,37	38,383	45,36	0,21%
12,29	1,26	45,51	53,830	45,30	53,917	45,29	52,747	45,48	51,169	45,37	49,570	45,39	0,22%
12,23	1,27	70,52	49,680	70,65	50,178	70,41	47,037	70,58	44,274	70,60	42,390	70,55	0,13%
12,22	1,27	70,47	51,303	70,61	52,476	70,39	51,797	70,52	50,030	70,51	48,430	70,50	0,11%
12,35	1,27	70,67	49,905	70,67	51,816	70,30	52,337	70,48	51,306	70,45	49,591	70,52	0,22%
12,29	1,26	100,43	47,075	100,28	48,290	99,85	47,720	100,03	46,517	100,12	45,278	100,14	0,22%
12,48	1,25	100,29	43,665	100,27	45,320	99,73	45,520	99,92	44,822	99,64	43,999	99,97	0,30%
12,46	1,26	100,52	46,804	100,38	48,411	99,80	48,302	99,92	47,223	99,83	46,017	100,09	0,34%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,41%
12,33	1,26		0,91%		0,55%							Mín.	0,11%

Trat. "I" com 11 golpes (345 kJ/m ³), umidade de 15 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
15,75	1,32	5,06	28,567	5,06	27,878	5,04	27,679	5,07	27,818	5,04	27,639	5,05 0,31%
15,77	1,29	5,08	26,676	5,08	26,654	5,08	26,736	5,08	27,448	5,06	27,603	5,08 0,21%
15,71	1,29	5,08	27,017	5,09	26,193	5,08	26,222	5,09	26,731	5,06	26,901	5,08 0,26%
15,60	1,30	10,31	29,695	10,32	29,777	10,28	30,115	10,32	30,395	10,25	30,571	10,30 0,28%
15,56	1,29	10,24	30,105	10,25	30,029	10,21	30,813	10,25	31,437	10,18	31,546	10,23 0,28%
15,53	1,29	10,13	28,509	10,12	28,926	10,08	28,813	10,15	29,501	10,08	30,379	10,11 0,30%
15,53	1,28	20,05	30,418	20,00	29,768	19,95	29,673	20,06	29,722	19,96	29,632	20,00 0,25%
15,68	1,27	19,99	31,135	19,96	31,403	19,90	31,416	19,99	31,259	19,88	30,936	19,94 0,25%
15,55	1,28	20,03	29,666	19,99	30,047	19,92	30,428	20,01	31,057	19,90	31,540	19,97 0,27%
15,58	1,29	30,74	30,354	30,61	30,699	30,53	31,166	30,66	31,767	30,54	31,833	30,62 0,28%
15,48	1,29	30,80	30,696	30,66	30,506	30,59	30,324	30,74	30,510	30,64	30,118	30,69 0,26%
15,25	1,29	30,72	30,936	30,61	31,508	30,55	31,975	30,69	32,578	30,55	32,499	30,62 0,26%
15,10	1,30	45,27	29,098	45,07	28,952	44,99	29,869	45,11	30,484	44,51	30,231	44,99 0,64%
15,51	1,29	45,30	29,741	45,11	29,483	45,03	29,864	44,82	30,542	44,52	30,876	44,96 0,67%
15,43	1,29	45,24	30,072	45,00	30,078	44,92	30,036	44,70	30,324	44,57	30,483	44,88 0,59%
15,36	1,28	70,27	34,293	70,05	34,034	69,99	33,997	70,11	34,091	69,97	34,067	70,08 0,17%
15,19	1,29	70,09	32,547	70,08	32,183	70,00	31,831	70,26	31,840	70,16	31,680	70,12 0,14%
15,38	1,29	70,10	32,754	70,12	33,255	70,11	33,574	70,30	33,838	70,22	33,893	70,17 0,13%
15,48	1,29	100,43	30,977	100,61	31,616	100,17	32,209	100,21	32,777	100,19	33,181	100,32 0,19%
15,43	1,28	100,59	33,262	100,74	33,287	100,26	33,194	100,35	33,327	100,24	33,611	100,44 0,22%
15,55	1,29	100,40	33,360	100,46	33,662	99,92	33,754	100,19	33,930	100,15	33,940	100,22 0,22%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,67%
15,50	1,29		1,12%		0,67%							Mín. 0,13%

Trat. "I" com 11 golpes (345 kJ/m ³), umidade de 17 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
17,48	1,43	5,01	17,755	5,00	17,578	4,98	17,202	5,03	17,055	5,00	17,513	5,00 0,35%
17,35	1,40	5,01	17,934	5,02	17,521	5,01	16,958	5,02	17,447	4,99	18,008	5,01 0,25%
17,42	1,41	5,03	17,352	5,02	16,735	5,01	16,447	5,03	17,118	5,00	17,333	5,02 0,26%
17,43	1,40	9,91	19,022	9,89	18,717	9,87	18,121	9,96	18,477	9,87	18,927	9,90 0,39%
17,56	1,41	9,93	18,872	9,91	18,292	9,94	18,135	9,92	18,015	9,88	17,507	9,91 0,24%
17,23	1,41	9,85	19,285	9,85	19,144	9,82	18,586	9,86	18,740	9,80	18,973	9,84 0,26%
17,40	1,39	20,60	18,513	20,53	19,117	20,47	19,177	20,59	19,305	20,49	19,683	20,54 0,29%
17,31	1,39	20,42	20,039	20,37	20,295	20,34	19,473	20,47	19,290	20,35	20,007	20,39 0,27%
17,32	1,40	20,47	17,969	20,41	18,805	20,35	19,330	20,47	19,195	20,38	20,150	20,41 0,26%
17,23	1,39	30,27	19,018	30,18	18,658	30,14	18,330	30,25	18,845	30,13	19,401	30,19 0,21%
17,40	1,40	30,37	18,758	30,24	19,288	30,18	19,155	30,32	18,998	30,21	19,058	30,26 0,26%
17,27	1,39	30,27	18,870	30,12	19,514	30,14	19,288	30,27	18,903	30,14	19,675	30,19 0,25%
17,24	1,41	45,37	21,001	45,01	21,617	44,83	21,227	45,13	21,438	44,88	22,212	45,04 0,48%
17,04	1,42	45,45	20,199	45,03	21,158	45,11	21,692	45,09	22,174	44,78	22,771	45,09 0,53%
17,34	1,41	45,48	21,189	45,14	22,482	45,22	22,522	45,10	22,407	44,91	22,688	45,17 0,46%
17,10	1,41	69,72	21,640	69,74	22,647	69,58	23,460	69,66	23,803	69,56	23,769	69,65 0,12%
16,92	1,41	69,90	22,549	69,74	22,824	69,48	22,541	69,66	22,436	69,60	22,630	69,68 0,23%
17,10	1,40	70,01	21,641	69,79	22,307	69,48	22,323	69,54	22,227	69,50	22,517	69,66 0,33%
17,27	1,41	99,94	19,741	99,82	19,679	99,46	19,453	99,64	19,417	99,64	19,675	99,70 0,19%
17,21	1,38	99,85	19,583	99,91	19,678	99,42	19,691	99,51	20,019	99,46	20,685	99,63 0,23%
17,37	1,39	99,76	18,102	99,72	18,546	99,10	18,674	99,19	18,841	99,19	19,228	99,39 0,32%
Média 17,28	Média 1,40	C.V.	Umid. 0,89%	C.V.	Densid. 0,80%							Máx. 0,53% Mín. 0,12%

Trat. "I" com 11 golpes (345 kJ/m ³), umidade de 20 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
19,80	1,54	4,96	6,184	4,96	6,164	4,94	6,096	4,97	6,074	4,94	6,289	4,95 0,32%
19,81	1,54	5,03	5,874	5,04	5,987	5,03	6,041	5,05	6,241	4,95	6,331	5,02 0,78%
19,77	1,54	5,00	6,227	5,00	6,404	5,00	6,280	5,00	6,005	4,97	6,130	4,99 0,27%
19,81	1,54	9,98	6,097	9,99	5,917	9,96	5,780	9,99	5,785	9,92	5,909	9,97 0,29%
19,73	1,53	9,97	6,128	9,98	6,327	9,98	6,671	9,97	6,606	9,91	6,248	9,96 0,29%
19,51	1,54	10,00	5,728	9,98	5,643	9,95	5,652	10,00	5,812	9,94	6,058	9,98 0,28%
19,65	1,55	20,12	6,420	20,03	6,492	20,00	6,625	20,13	6,629	20,04	6,386	20,06 0,29%
19,85	1,53	20,26	6,436	20,20	6,637	20,15	6,560	20,28	6,477	20,18	6,335	20,21 0,27%
19,68	1,54	20,22	6,359	20,19	6,598	20,15	6,745	20,25	6,649	20,13	6,538	20,19 0,24%
19,78	1,54	30,75	6,466	30,64	6,401	30,57	6,288	30,69	6,212	30,56	6,256	30,64 0,26%
19,76	1,54	30,79	6,834	30,63	6,671	30,57	6,355	30,73	6,216	30,64	6,313	30,67 0,29%
19,60	1,53	30,67	6,783	30,59	6,733	30,57	6,588	30,66	6,431	30,47	6,377	30,59 0,26%
19,69	1,55	45,23	7,669	44,96	7,913	44,95	7,939	45,11	7,827	44,84	7,731	45,02 0,34%
19,65	1,54	45,20	6,676	44,99	6,530	44,96	6,555	45,12	6,890	45,01	7,400	45,06 0,23%
19,77	1,53	45,45	6,494	45,24	6,391	45,26	6,446	45,31	6,631	44,88	6,843	45,23 0,46%
19,65	1,54	71,13	7,364	70,90	7,418	70,76	7,515	70,96	7,608	70,92	7,613	70,93 0,19%
19,64	1,54	71,14	6,761	71,16	7,237	70,90	7,762	71,12	7,863	71,11	7,671	71,09 0,15%
19,27	1,54	70,96	7,998	71,00	8,189	70,93	8,271	71,14	8,103	70,95	7,781	71,00 0,12%
19,39	1,55	100,13	7,390	100,31	7,411	99,80	7,506	100,01	7,604	100,05	7,699	100,06 0,19%
19,55	1,54	100,04	6,821	100,04	6,806	99,53	6,854	99,64	6,899	99,64	6,983	99,78 0,24%
19,57	1,54	100,04	7,252	100,22	7,318	99,62	7,371	99,73	7,365	99,76	7,282	99,87 0,25%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,78%
19,66	1,54		0,74%		0,42%							Mín. 0,12%

Trat. "B" com 5 golpes (157 kJ/m ³), umidade de 13 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s													
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. [mm/s]	C.V.
13,19	1,15	4,99	21,592	5,00	22,963	5,04	23,439	4,99	22,832	4,97	22,422	5,00	0,54%
12,98	1,14	4,97	26,091	4,98	26,688	5,05	27,378	4,99	27,502	4,98	26,452	5,00	0,65%
13,23	1,15	4,99	25,483	5,00	26,484	5,00	26,887	5,00	27,399	4,97	27,948	4,99	0,26%
13,09	1,19	9,94	30,804	9,92	30,585	9,88	28,671	9,97	26,344	9,90	25,119	9,92	0,35%
13,05	1,16	10,00	23,296	9,96	23,916	9,92	24,280	10,00	24,159	9,94	24,630	9,96	0,36%
13,18	1,14	9,89	15,444	9,87	19,435	9,83	22,228	9,89	24,083	9,82	26,245	9,86	0,32%
13,32	1,17	20,36	24,199	20,30	24,309	20,26	23,948	20,36	23,975	20,23	24,206	20,30	0,29%
12,57	1,17	19,74	27,474	19,71	28,783	19,79	29,990	19,77	31,034	19,72	31,757	19,75	0,18%
12,44	1,16	19,91	26,090	19,88	26,420	19,85	27,597	19,92	28,776	19,86	29,160	19,89	0,16%
12,91	1,17	30,38	25,631	30,37	26,227	30,33	25,464	30,46	25,493	30,44	25,572	30,40	0,18%
12,96	1,18	30,51	30,918	30,39	31,222	30,31	30,807	30,51	30,446	30,42	30,122	30,43	0,29%
13,09	1,18	30,46	26,858	30,29	28,895	30,29	30,195	30,45	31,008	30,34	31,912	30,37	0,28%
12,82	1,18	45,33	25,941	45,16	26,339	45,12	25,459	45,17	24,593	45,11	24,096	45,18	0,19%
12,93	1,17	45,35	21,644	45,11	23,056	45,07	22,772	45,17	21,592	45,04	20,584	45,15	0,27%
13,06	1,17	45,24	27,614	45,04	29,301	45,04	30,378	45,09	31,446	44,59	32,185	45,00	0,54%
13,07	1,17	70,49	25,820	70,46	25,836	70,17	25,296	70,21	24,002	69,52	22,759	70,17	0,56%
12,98	1,18	70,47	28,480	70,29	29,099	69,99	29,626	69,73	30,156	69,56	30,971	70,01	0,54%
13,25	1,18	70,61	27,014	70,40	28,658	70,04	29,960	69,86	31,053	69,54	32,207	70,09	0,61%
12,75	1,19	100,82	29,281	101,14	29,908	100,79	29,860	100,81	29,639	100,74	29,735	100,86	0,16%
13,15	1,19	100,73	27,446	100,92	27,646	100,47	26,342	100,32	24,622	100,34	23,224	100,55	0,26%
13,04	1,17	100,68	24,517	100,68	25,129	100,07	24,868	100,24	24,369	100,28	24,078	100,39	0,28%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx.	0,65%
13,00	1,17		1,67%		1,20%							Mín.	0,16%

Trat. "B" com 5 golpes (157 kJ/m ³), umidade de 15 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
14,66	1,23	5,24	19,782	5,24	19,372	5,23	18,459	5,26	17,474	5,22	16,833	5,24 0,27%
15,00	1,21	5,16	20,460	5,17	20,142	5,17	20,322	5,19	20,531	5,16	20,313	5,17 0,24%
14,81	1,22	5,07	20,869	5,07	20,176	5,06	21,111	5,07	21,320	5,04	21,233	5,06 0,22%
15,03	1,21	10,16	18,732	10,17	18,033	10,17	18,889	10,16	19,935	10,12	20,566	10,15 0,21%
14,92	1,21	10,24	20,425	10,24	20,012	10,23	20,329	10,27	20,395	10,19	20,093	10,23 0,27%
14,92	1,20	10,09	19,972	10,09	21,129	10,11	21,410	10,09	21,303	10,06	21,138	10,09 0,17%
14,96	1,19	20,29	18,507	20,26	18,895	20,22	19,597	20,34	19,815	19,96	19,627	20,21 0,74%
14,99	1,21	20,12	20,900	20,09	21,401	20,07	21,029	20,15	20,519	19,72	19,887	20,03 0,88%
14,89	1,20	20,07	17,418	20,05	18,690	20,00	18,656	20,11	18,747	19,85	19,648	20,02 0,52%
14,90	1,20	30,49	20,710	30,37	21,408	30,32	21,745	30,45	22,503	30,02	22,559	30,33 0,61%
14,77	1,19	30,09	16,132	29,95	17,560	29,89	19,186	29,97	19,594	29,46	20,193	29,87 0,81%
14,92	1,21	30,39	24,234	30,29	24,273	30,26	24,552	30,37	24,424	29,90	23,532	30,24 0,66%
14,99	1,19	45,38	16,254	45,09	16,714	45,02	17,235	44,66	17,889	44,59	18,790	44,95 0,73%
15,05	1,20	45,20	19,697	44,97	20,169	44,88	21,043	44,67	22,134	44,66	23,152	44,88 0,50%
15,04	1,19	45,32	19,193	45,09	19,950	44,98	20,405	44,65	21,190	44,67	21,957	44,94 0,63%
14,84	1,22	70,73	23,985	70,53	24,432	70,37	24,692	70,52	24,629	70,48	24,708	70,53 0,19%
15,07	1,22	70,72	21,278	70,51	22,246	70,34	23,177	70,49	24,209	70,47	25,093	70,50 0,20%
15,11	1,21	70,68	21,002	70,56	21,524	70,33	21,910	70,38	22,423	70,37	22,625	70,46 0,21%
14,91	1,19	100,77	19,683	100,88	20,566	100,26	21,203	100,44	21,931	100,40	22,385	100,55 0,26%
14,69	1,20	100,68	21,033	100,66	21,179	100,19	21,263	100,37	21,223	100,33	21,320	100,45 0,21%
14,93	1,19	100,73	17,341	100,75	18,256	100,37	19,087	100,56	19,759	100,37	20,248	100,56 0,18%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,88%
14,92	1,20		0,80%		1,00%							Mín. 0,17%

Trat. "B" com 5 golpes (157 kJ/m ³), umidade de 17 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
17,16	1,26	5,21	9,506	5,21	10,109	5,19	10,238	5,21	10,442	5,17	10,754	5,20 0,30%
17,32	1,24	5,29	8,669	5,30	8,729	5,31	8,945	5,31	9,542	5,29	10,337	5,30 0,22%
17,46	1,25	5,32	10,432	5,31	10,559	5,34	10,958	5,34	10,884	5,31	10,797	5,32 0,28%
17,30	1,28	9,89	12,603	9,88	13,226	9,86	13,692	9,90	14,142	9,84	13,770	9,87 0,28%
17,39	1,25	9,94	8,853	9,91	9,539	9,99	9,736	9,97	10,098	9,94	10,541	9,95 0,31%
17,37	1,25	9,81	9,378	9,81	9,616	9,85	9,587	9,83	9,510	9,77	9,911	9,81 0,28%
17,45	1,24	19,95	10,598	19,94	10,289	19,92	10,096	19,97	10,465	19,88	10,799	19,93 0,18%
17,30	1,24	19,91	11,125	19,89	10,998	19,86	10,602	19,90	10,755	19,80	11,162	19,87 0,22%
17,37	1,25	19,92	11,082	19,89	11,015	19,88	10,865	19,92	11,153	19,82	11,271	19,89 0,20%
17,77	1,31	30,60	10,882	30,48	11,228	30,44	11,479	30,55	11,514	30,42	11,754	30,50 0,25%
17,81	1,31	30,45	10,926	30,37	11,331	30,36	11,617	30,45	11,791	30,32	11,540	30,39 0,19%
17,20	1,27	30,78	12,239	30,69	12,295	30,64	12,211	30,76	11,993	30,65	11,897	30,70 0,20%
17,96	1,30	45,13	11,581	44,90	11,901	44,85	12,004	44,99	12,045	44,89	12,113	44,95 0,25%
17,28	1,25	45,35	10,187	45,15	10,527	45,12	10,990	45,27	11,130	45,15	10,907	45,21 0,22%
17,69	1,30	45,17	11,828	44,96	11,993	44,96	12,085	45,09	12,290	44,98	12,325	45,03 0,21%
17,17	1,27	70,58	14,385	70,25	14,768	70,02	15,054	70,20	15,319	69,88	15,420	70,18 0,38%
17,83	1,30	69,98	12,327	69,86	12,324	69,97	12,253	70,17	12,390	70,17	12,657	70,03 0,20%
17,30	1,30	70,57	12,844	70,30	12,842	69,99	13,193	70,13	13,685	70,03	14,400	70,20 0,34%
17,22	1,26	100,77	11,783	100,90	12,058	100,37	12,340	100,47	12,670	100,35	12,983	100,57 0,25%
17,13	1,27	100,82	13,981	100,81	14,219	100,40	14,299	100,51	14,321	100,35	14,368	100,58 0,22%
17,31	1,27	100,63	12,078	100,79	12,346	100,24	12,502	100,32	12,580	100,17	12,606	100,43 0,26%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,38%
17,42	1,27		1,40%		1,85%							Mín. 0,18%

Trat. "B" com 5 golpes (157 kJ/m ³), umidade de 20 % e velocidades de: 5; 10; 20; 30,48; 45; 70 e 100 mm/s												
Umid. [%]	Dens. [kg/dm ³]	V1 [mm/s]	P1 [kgf/cm ²]	V2 [mm/s]	P2 [kgf/cm ²]	V3 [mm/s]	P3 [kgf/cm ²]	V4 [mm/s]	P4 [kgf/cm ²]	V5 [mm/s]	P5 [kgf/cm ²]	Vel.Méd. C.V. [mm/s]
19,94	1,48	5,09	5,818	5,09	6,499	5,09	6,981	5,09	6,865	5,07	6,469	5,09 0,23%
20,02	1,48	5,11	5,084	5,11	5,744	5,11	6,189	5,12	6,149	5,10	6,009	5,11 0,16%
20,34	1,51	5,13	4,840	5,13	4,840	5,12	5,318	5,14	5,573	5,11	5,629	5,13 0,25%
20,23	1,48	9,92	5,416	9,92	5,066	9,91	4,785	9,91	4,848	9,85	5,056	9,90 0,28%
19,89	1,49	9,88	5,286	9,88	5,261	9,86	5,477	9,90	5,604	9,84	5,727	9,87 0,24%
19,87	1,48	9,83	6,109	9,84	6,178	9,82	6,135	9,85	6,233	9,84	6,181	9,84 0,09%
20,16	1,52	20,20	5,828	20,14	5,926	20,08	5,836	20,21	5,732	20,11	5,834	20,15 0,28%
20,18	1,45	20,11	5,616	20,05	5,837	19,99	5,956	20,13	6,050	20,03	5,981	20,06 0,28%
20,28	1,50	20,11	4,929	20,06	4,949	20,08	4,910	20,12	4,775	20,00	4,855	20,07 0,24%
20,24	1,48	30,74	5,190	30,63	5,313	30,57	5,286	30,70	5,238	30,58	5,151	30,65 0,24%
20,06	1,50	30,74	5,269	30,67	5,220	30,60	5,137	30,70	5,125	30,59	5,250	30,66 0,21%
20,19	1,50	30,69	4,983	30,58	5,069	30,53	5,309	30,70	5,260	30,61	5,112	30,62 0,24%
20,28	1,51	45,53	5,327	45,27	5,290	45,20	5,096	45,32	5,032	45,17	5,205	45,30 0,31%
20,13	1,49	45,45	5,364	45,20	5,578	45,11	5,672	45,28	5,768	45,23	5,745	45,25 0,28%
20,25	1,49	45,47	5,660	45,24	5,550	45,17	5,677	45,33	5,827	45,22	5,945	45,29 0,26%
20,34	1,48	70,58	5,521	70,36	5,281	70,14	5,160	70,08	5,253	69,73	5,371	70,18 0,46%
20,17	1,51	70,69	6,140	70,41	6,039	70,08	5,979	69,95	5,961	69,72	5,991	70,17 0,55%
19,95	1,51	70,48	6,354	70,06	6,176	69,92	6,080	70,01	6,110	69,73	6,187	70,04 0,40%
20,16	1,50	100,50	6,717	100,59	6,537	100,10	6,438	100,17	6,395	100,21	6,407	100,31 0,22%
20,36	1,51	100,61	6,490	100,89	6,315	100,35	6,122	100,33	6,015	100,19	5,990	100,47 0,28%
20,30	1,52	100,50	6,519	100,75	6,357	100,35	6,205	100,40	6,128	100,19	6,166	100,44 0,21%
Média	Média	C.V.	Umid.	C.V.	Densid.							Máx. 0,55%
20,16	1,50		0,74%		1,08%							Mín. 0,09%

Anexo VI – Coeficientes dos modelos matemáticos nas profundidades P1 a PT

Velocidade de 5 mm/s						
Coeficientes	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Prof. PT
Determin. (R^2)	0,92907	0,94108	0,9559	0,95469	0,94842	0,93982
B00	113,1969	126,6672	121,2761	116,371	127,2077	120,6738
B01	-20,8815	-23,1924	-22,1192	-21,3034	-22,8983	-22,0022
B02	1,267053	1,396854	1,329082	1,286643	1,365893	1,322787
B03	-0,02501	-0,02738	-0,02599	-0,02531	-0,02668	-0,02593
B10	-11,0517	-11,7444	-11,3899	-11,7723	-12,381	-11,4758
B11	2,002761	2,103524	2,03259	2,124354	2,233144	2,063113
B12	-0,11723	-0,1215	-0,1169	-0,12407	-0,13148	-0,12007
B13	0,002203	0,002245	0,002144	0,002326	0,002514	0,002247
B20	0,060478	0,064019	0,055749	0,104242	0,197613	0,096974
B21	-0,0027	-0,00227	-0,00041	-0,01092	-0,03063	-0,00975
B22	-0,00052	-0,00063	-0,00077	-9,46E-06	0,001399	-5,9E-05
B23	2,85E-05	3,25E-05	3,61E-05	1,81E-05	-1,6E-05	1,83E-05
B30	0,002264	0,002397	0,002493	0,00145	-0,00017	0,001641
B31	-0,00057	-0,00061	-0,00063	-0,00041	-5,9E-05	-0,00044
B32	4,65E-05	4,99E-05	5,18E-05	3,54E-05	1,07E-05	3,78E-05
B33	-1,23E-06	-1,33E-06	-1,38E-06	-9,86E-07	-3,97E-07	-1,03E-06

Velocidade de 10 mm/s						
Coeficientes	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Prof. PT
Determin. (R^2)	0,88752	0,87839	0,88443	0,88043	0,87973	0,87716
B00	90,55216	68,92029	59,57976	66,95256	70,18607	71,27837
B01	-16,7596	-12,8424	-11,0375	-12,2264	-12,8818	-13,0189
B02	1,023595	0,787978	0,670138	0,73454	0,78159	0,785698
B03	-0,02037	-0,01571	-0,01317	-0,01433	-0,01543	-0,01544
B10	-7,07109	-4,46854	-2,2105	-2,55255	-3,88313	-3,81926
B11	1,314165	0,836206	0,400162	0,450459	0,709572	0,697492
B12	-0,07928	-0,05053	-0,02281	-0,02522	-0,0419	-0,04123
B13	0,001549	0,000991	0,000417	0,000452	0,000799	0,000792
B20	0,098723	0,04125	-0,02887	-0,00281	0,054847	0,044201
B21	-0,01634	-0,00648	0,006694	0,001909	-0,00904	-0,0072
B22	0,000819	0,000288	-0,00052	-0,00022	0,000452	0,000354
B23	-1,1E-05	-2,94E-06	1,27E-05	6,96E-06	-6,35E-06	-4,94E-06
B30	-0,00033	2,71E-06	0,000655	0,000271	-0,00043	-0,00018
B31	4,1E-05	-7,97E-06	-0,00013	-5,8E-05	7,65E-05	2,97E-05
B32	-8,62E-07	1,08E-06	8,49E-06	4,00E-06	-4,39E-06	-1,51E-06
B33	-2,72E-08	-3,51E-08	-1,78E-07	-8,81E-08	8,03E-08	2,42E-08

Velocidade de 20 mm/s						
Coeficientes	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Prof. PT
Determin. (R^2)	0,84676	0,85272	0,85541	0,85028	0,85439	0,84974
B00	89,52052	105,471	110,7543	105,7925	96,75304	102,7819
B01	-16,2766	-18,8964	-19,832	-19,0953	-17,6871	-18,5477
B02	0,980329	1,118129	1,172246	1,140472	1,073628	1,106826
B03	-0,0193	-0,02163	-0,02265	-0,02228	-0,02133	-0,0216
B10	-6,89286	-6,56803	-6,73267	-7,41427	-8,07829	-7,07944
B11	1,266611	1,167577	1,19122	1,344144	1,503439	1,279667
B12	-0,07592	-0,06743	-0,06839	-0,07949	-0,09159	-0,07534
B13	0,001482	0,001265	0,001274	0,001531	0,001819	0,001443
B20	0,102513	0,08004	0,084309	0,136595	0,188775	0,111777
B21	-0,01681	-0,01197	-0,01259	-0,02324	-0,03411	-0,01832
B22	0,000841	0,00051	0,000537	0,001248	0,001985	0,000925
B23	-1,2E-05	-4,83E-06	-5,11E-06	-2E-05	-3,7E-05	-1,4E-05
B30	-0,0002	8,92E-05	2,4E-05	-0,0007	-0,00154	-0,00034
B31	6,88E-06	-5,2E-05	-4,1E-05	0,000105	0,000279	3,37E-05
B32	2,04E-06	5,92E-06	5,26E-06	-4,34E-06	-1,6E-05	3,25E-07
B33	-1,06E-07	-1,86E-07	-1,73E-07	3,35E-08	3,01E-07	-6,79E-08

Velocidade de 30 mm/s						
Coeficientes	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Prof. PT
Determin. (R^2)	0,86693	0,85967	0,86781	0,87289	0,87429	0,86367
B00	39,04053	37,10171	40,45977	46,68428	60,25868	45,60293
B01	-8,02517	-7,81978	-8,48618	-9,55163	-12,068	-9,27089
B02	0,54094	0,535969	0,579197	0,639457	0,791296	0,618034
B03	-0,01165	-0,01166	-0,01255	-0,01366	-0,01663	-0,01318
B10	-5,51142	-5,19121	-5,25936	-5,09593	-5,93529	-5,15457
B11	1,09327	1,039144	1,047608	1,004342	1,147254	1,016426
B12	-0,07004	-0,06693	-0,06695	-0,06343	-0,07103	-0,06445
B13	0,001445	0,001384	0,001365	0,001273	0,001394	0,001306
B20	0,044203	0,047083	0,033984	0,028397	0,037448	0,036775
B21	-0,00622	-0,00717	-0,0039	-0,00248	-0,00337	-0,00451
B22	0,000178	0,000265	-7,45E-06	-0,00012	-0,00013	4,48E-05
B23	2,67E-06	2,31E-07	7,80E-06	1,09E-05	1,28E-05	6,25E-06
B30	0,00039	0,000151	0,000682	0,00085	0,000965	0,000537
B31	-0,00011	-5,6E-05	-0,00018	-0,00022	-0,00025	-0,00014
B32	1E-05	5,92E-06	1,51E-05	1,81E-05	2,11E-05	1,27E-05
B33	-2,91E-07	-1,89E-07	-4,24E-07	-5,00E-07	-5,86E-07	-3,62E-07

Velocidade de 45 mm/s						
Coeficientes	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Prof. PT
Determin. (R^2)	0,92011	0,91905	0,92015	0,92014	0,91783	0,91528
B00	91,13013	85,24384	77,52483	78,64245	83,97538	80,3703
B01	-16,4962	-15,5439	-14,1208	-14,2282	-15,1989	-14,5922
B02	0,99397	0,942762	0,85497	0,855214	0,913451	0,880699
B03	-0,01963	-0,01873	-0,01694	-0,01682	-0,01797	-0,0174
B10	-8,31112	-8,06914	-6,84907	-6,21635	-6,48038	-6,69782
B11	1,551941	1,52036	1,291762	1,164112	1,21197	1,258759
B12	-0,09515	-0,09403	-0,0799	-0,07148	-0,07435	-0,07762
B13	0,001908	0,001904	0,001619	0,001438	0,001494	0,001567
B20	0,215156	0,215284	0,185164	0,164033	0,176295	0,184051
B21	-0,03965	-0,04018	-0,03466	-0,03053	-0,03296	-0,03451
B22	0,002371	0,00244	0,002111	0,001848	0,002009	0,002108
B23	-4,5E-05	-4,8E-05	-4,2E-05	-3,6E-05	-4E-05	-4,2E-05
B30	-0,00157	-0,00162	-0,00143	-0,00123	-0,00139	-0,00151
B31	0,000282	0,000296	0,000264	0,000224	0,000257	0,000282
B32	-1,6E-05	-1,7E-05	-1,6E-05	-1,3E-05	-1,5E-05	-1,7E-05
B33	2,88E-07	3,26E-07	2,97E-07	2,44E-07	2,96E-07	3,31E-07

Velocidade de 70 mm/s						
Coeficientes	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Prof. PT
Determin. (R^2)	0,94387	0,9451	0,94202	0,93615	0,93248	0,93548
B00	53,52069	54,39524	67,09918	76,33912	78,45646	67,21507
B01	-10,2887	-10,4227	-12,4552	-13,913	-14,2581	-12,3853
B02	0,659282	0,666867	0,770465	0,843309	0,861683	0,760748
B03	-0,01368	-0,01385	-0,01556	-0,01673	-0,01705	-0,01527
B10	-6,23797	-6,02312	-5,67787	-5,43368	-5,48223	-5,305
B11	1,21108	1,178147	1,090669	1,025806	1,032423	1,01665
B12	-0,07659	-0,07527	-0,06869	-0,06362	-0,06391	-0,06397
B13	0,001565	0,00156	0,001413	0,001295	0,0013	0,001318
B20	0,145384	0,168502	0,167821	0,161324	0,164693	0,164931
B21	-0,02672	-0,03229	-0,03251	-0,03128	-0,03195	-0,03223
B22	0,001563	0,002006	0,002063	0,001996	0,002042	0,00207
B23	-2,8E-05	-4E-05	-4,3E-05	-4,2E-05	-4,3E-05	-4,4E-05
B30	-0,00126	-0,00193	-0,0021	-0,00205	-0,00203	-0,00218
B31	0,000234	0,000385	0,000428	0,000421	0,000417	0,000449
B32	-1,4E-05	-2,5E-05	-2,9E-05	-2,9E-05	-2,8E-05	-3,1E-05
B33	2,56E-07	5,40E-07	6,46E-07	6,51E-07	6,44E-07	6,94E-07

Velocidade de 100 mm/s						
Coeficientes	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Todas Prof. PT
Determin. (R^2)	0,91385	0,91349	0,91403	0,91314	0,91227	0,91145
B00	65,23812	63,72589	63,74793	63,19022	62,05073	64,31744
B01	-12,3299	-11,962	-11,8302	-11,6579	-11,473	-11,9327
B02	0,77341	0,74557	0,729467	0,715243	0,705675	0,735695
B03	-0,01583	-0,01516	-0,01467	-0,01431	-0,01415	-0,0148
B10	-5,4649	-4,88702	-4,35547	-4,02231	-4,0115	-4,36823
B11	1,064029	0,945218	0,830801	0,762246	0,763363	0,834378
B12	-0,06778	-0,05976	-0,05173	-0,04712	-0,04738	-0,05206
B13	0,001413	0,001236	0,001051	0,000948	0,000956	0,00106
B20	0,096257	0,08004	0,062422	0,054402	0,054795	0,06562
B21	-0,01808	-0,0148	-0,01104	-0,00938	-0,00951	-0,0118
B10	0,001096	0,000878	0,000613	0,000499	0,00051	0,000672
B23	-2,1E-05	-1,7E-05	-1E-05	-7,66E-06	-7,96E-06	-1,2E-05
B30	-0,00046	-0,00032	-8,8E-05	-2,83E-06	-2,2E-05	-0,00019
B31	8,33E-05	5,38E-05	3,83E-06	-1,5E-05	-1E-05	2,59E-05
B32	-4,77E-06	-2,77E-06	8,52E-07	2,19E-06	1,87E-06	-8,16E-07
B33	8,45E-08	3,96E-08	-4,78E-08	-8,05E-08	-7,28E-08	-5,93E-09

Anexo VII – Densidades testemunhas e calculadas a partir dos modelos matemáticos obtidos através de regressão do IC em função da umidade e da densidade do solo nas profundidades P1 a P5

Veloc. 5 mm/s		DENSIDADES TESTEMUNHAS E CALCULADAS [kg/dm ³]						
Nomes	Umidade [%]	Testem.	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Média Prof.
S13R1	13,11	1,36	1,37	1,36	1,36	1,33	1,35	1,36
B15R2	15,00	1,21	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
S17R2	18,60	1,60	1,48	1,48	1,48	1,47	1,48	1,48
M20R1	20,04	1,55	1,62	1,60	1,56	1,57	1,56	1,58
A15R3	14,76	1,40	1,38	1,41	1,41	1,38	1,39	1,39
A17R1	17,25	1,57	1,51	1,49	1,52	1,54	1,53	1,52
B20R1	19,94	1,48	1,54	1,52	1,51	1,52	1,54	1,52
I15R2	15,77	1,29	1,32	1,32	1,31	1,32	1,32	1,32
B13R3	13,23	1,15	1,20	1,20	1,19	1,19	1,16	1,19
I17R1	17,48	1,43	1,48	1,46	1,44	1,41	1,42	1,44

Veloc. 10 mm/s		DENSIDADES TESTEMUNHAS E CALCULADAS [kg/dm ³]						
Nomes	Umidade [%]	Testem.	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Média Prof.
I13R1	12,29	1,26	1,25	1,25	1,24	1,24	1,23	1,24
M15R3	14,95	1,33	1,37	1,36	1,36	1,37	1,38	1,37
B17R1	17,30	1,28	1,31	1,35	1,38	1,38	1,36	1,36
S20R3	19,57	1,55	1,58	1,57	1,56	1,56	1,57	1,57
M13R1	12,92	1,28	1,29	1,29	1,29	1,30	1,30	1,30
B13R1	13,09	1,19	1,24	1,26	1,24	1,20	1,17	1,22
A20R1	20,16	1,54	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52
A17R1	17,69	1,60	1,63	1,59	1,55	1,52	1,53	1,56
S15R3	14,72	1,50	1,45	1,48	1,50	1,46	1,44	1,47
I15R2	15,56	1,29	1,36	1,35	1,35	1,36	1,36	1,36

Veloc. 20 mm/s		DENSIDADES TESTEMUNHAS E CALCULADAS [kg/dm ³]						
Nomes	Umidade [%]	Testem.	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Média Prof.
I13R1	12,33	1,26	1,25	1,19	1,16	1,17	1,18	1,19
M15R2	14,87	1,33	1,34	1,34	1,34	1,35	1,36	1,35
S17R2	17,89	1,65	1,44	1,44	1,44	1,43	1,40	1,43
B20R2	20,18	1,45	1,53	1,52	1,52	1,51	1,51	1,52
A15R2	14,78	1,38	1,38	1,37	1,37	1,38	1,39	1,38
I17R3	17,32	1,40	1,42	1,44	1,46	1,44	1,44	1,44
S15R2	14,99	1,52	1,55	1,54	1,53	1,55	1,59	1,55
S13R1	13,03	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,35	1,36
A20R1	20,23	1,54	1,51	1,52	1,52	1,51	1,50	1,51
B13R3	12,44	1,16	1,16	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18

Veloc. 30 mm/s		DENSIDADES TESTEMUNHAS E CALCULADAS [kg/dm ³]						
Nomes	Umidade [%]	Testem.	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Média Prof.
B13R2	12,96	1,18	1,23	1,23	1,22	1,22	1,21	1,22
S15R3	15,02	1,52	1,53	1,56	1,51	1,53	1,50	1,53
M17R3	17,27	1,50	1,48	1,47	1,47	1,49	1,47	1,48
I20R1	19,78	1,54	1,57	1,57	1,56	1,56	1,55	1,56
M20R3	19,96	1,56	1,53	1,54	1,55	1,56	1,57	1,55
B17R1	17,77	1,31	1,42	1,43	1,43	1,44	1,43	1,43
M13R1	13,18	1,28	1,30	1,31	1,29	1,30	1,28	1,30
B15R3	14,92	1,21	1,23	1,22	1,21	1,20	1,19	1,21
I13R3	12,54	1,26	1,27	1,28	1,27	1,28	1,27	1,27
A17R2	16,75	1,61	1,54	1,53	1,52	1,51	1,51	1,52

Veloc. 45 mm/s		DENSIDADES TESTEMUNHAS E CALCULADAS [kg/dm ³]						
Nomes	Umidade [%]	Testem.	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Média Prof.
S13R2	12,76	1,37	1,22	1,25	1,27	1,24	1,24	1,24
I15R3	15,43	1,29	1,33	1,32	1,32	1,31	1,31	1,32
A17R3	16,70	1,60	1,52	1,52	1,51	1,50	1,48	1,51
M20R3	19,79	1,56	1,56	1,56	1,55	1,55	1,56	1,56
B13R2	12,93	1,17	1,21	1,19	1,19	1,19	1,20	1,19
B15R1	14,99	1,19	1,14	1,13	1,12	1,11	1,11	1,12
S17R3	19,03	1,58	1,55	1,55	1,54	1,53	1,52	1,54
I20R2	19,65	1,54	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56
B15R2	15,05	1,20	1,17	1,17	1,17	1,16	1,17	1,17
M17R3	17,42	1,49	1,49	1,48	1,49	1,49	1,47	1,48

Veloc. 70 mm/s		DENSIDADES TESTEMUNHAS E CALCULADAS [kg/dm ³]						
Nomes	Umidade [%]	Testem.	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Média Prof.
S13R2	12,93	1,36	1,39	1,36	1,36	1,30	1,38	1,36
B15R2	15,07	1,22	1,19	1,18	1,18	1,18	1,20	1,19
M17R3	17,34	1,49	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
S20R1	20,20	1,53	1,51	1,51	1,51	1,52	1,52	1,51
M20R2	19,83	1,56	1,57	1,57	1,57	1,56	1,56	1,57
A20R3	20,23	1,54	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51
I17R2	16,92	1,41	1,40	1,40	1,39	1,39	1,39	1,39
S17R1	19,16	1,58	1,53	1,51	1,52	1,52	1,52	1,52
S15R2	14,97	1,52	1,58	1,58	1,60	1,56	1,58	1,58
A15R3	14,43	1,40	1,34	1,33	1,32	1,30	1,32	1,32

Veloc. 100 mm/s		DENSIDADES TESTEMUNHAS E CALCULADAS [kg/dm ³]						
Nomes	Umidade [%]	Testem.	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Média Prof.
M13R2	12,89	1,27	1,29	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
I15R3	15,55	1,29	1,35	1,35	1,35	1,35	1,34	1,35
A17R2	16,87	1,62	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56
B20R3	20,30	1,52	1,52	1,52	1,51	1,51	1,51	1,51
B15R3	14,93	1,19	1,12	1,13	1,13	1,14	1,14	1,13
A13R3	12,87	1,29	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
S13R1	12,91	1,36	1,39	1,37	1,36	1,36	1,35	1,37
I13R3	12,46	1,26	1,26	1,26	1,25	1,25	1,25	1,25
M17R3	17,49	1,48	1,51	1,50	1,50	1,49	1,48	1,50
S15R3	14,97	1,55	1,58	1,58	1,57	1,56	1,56	1,57

Veloc. 100 mm/s		DENSIDADES TESTEMUNHAS E CALCULADAS [kg/dm ³] do cilindro "B".						
Nomes	Umidade [%]	Testem.	Prof. P1	Prof. P2	Prof. P3	Prof. P4	Prof. P5	Média Prof.
A13R4	12,52	1,30	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
A15R4	14,70	1,41	1,41	1,41	1,42	1,43	1,44	1,42
A17R4	16,92	1,61	1,52	1,52	1,54	1,55	1,54	1,54
A20R4	20,18	1,55	1,51	1,51	1,52	1,52	1,52	1,51
M13R4	12,90	1,30	1,29	1,28	1,27	1,27	1,27	1,28
M15R4	14,66	1,35	1,36	1,36	1,37	1,38	1,38	1,37
M17R4	17,47	1,53	1,58	1,56	1,55	1,54	1,53	1,55
M20R4	19,96	1,56	1,55	1,54	1,54	1,55	1,55	1,55
B13R4	12,81	1,17	1,14	1,15	1,18	1,19	1,20	1,17
B15R4	14,53	1,18	1,14	1,12	1,12	1,12	1,13	1,13
B17R4	17,31	1,29	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
B20R4	20,06	1,50	1,49	1,50	1,52	1,53	1,53	1,52

Anexo VIII – Densidades testemunhas e calculadas a partir dos modelos, na profundidade PT.

Veloc. 5 mm/s		Todas as profundidades juntas (PT).					
Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].	Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].
S13R1	13,11	1,36	1,32	A17R1	17,25	1,57	1,51
B15R2	15,00	1,21	1,22	B20R1	19,94	1,48	1,53
S17R2	18,60	1,60	1,48	I15R2	15,77	1,29	1,32
M20R1	20,04	1,55	1,65	B13R3	13,23	1,15	1,19
A15R3	14,76	1,40	1,37	I17R1	17,48	1,43	1,43
A17R1	17,25	1,57	1,49	S13R1	13,11	1,36	1,32
B20R1	19,94	1,48	1,54	B15R2	15,00	1,21	1,22
I15R2	15,77	1,29	1,32	S17R2	18,60	1,60	1,48
B13R3	13,23	1,15	1,18	M20R1	20,04	1,55	1,56
I17R1	17,48	1,43	1,45	A15R3	14,76	1,40	1,39
S13R1	13,11	1,36	1,32	A17R1	17,25	1,57	1,54
B15R2	15,00	1,21	1,22	B20R1	19,94	1,48	1,53
S17R2	18,60	1,60	1,48	I15R2	15,77	1,29	1,33
M20R1	20,04	1,55	1,59	B13R3	13,23	1,15	1,19
A15R3	14,76	1,40	1,38	I17R1	17,48	1,43	1,43
A17R1	17,25	1,57	1,48	S13R1	13,11	1,36	1,32
B20R1	19,94	1,48	1,53	B15R2	15,00	1,21	1,22
I15R2	15,77	1,29	1,32	S17R2	18,60	1,60	1,48
B13R3	13,23	1,15	1,19	M20R1	20,04	1,55	1,57
I17R1	17,48	1,43	1,45	A15R3	14,76	1,40	1,39
S13R1	13,11	1,36	1,32	A17R1	17,25	1,57	1,56
B15R2	15,00	1,21	1,22	B20R1	19,94	1,48	1,53
S17R2	18,60	1,60	1,48	I15R2	15,77	1,29	1,33
M20R1	20,04	1,55	1,55	B13R3	13,23	1,15	1,19
A15R3	14,76	1,40	1,39	I17R1	17,48	1,43	1,45

Veloc. 10 mm/s		Todas as profundidades juntas (PT).					
Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].	Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].
I13R1	12,29	1,26	1,26	B13R1	13,09	1,19	1,22
M15R3	14,95	1,33	1,36	A20R1	20,16	1,54	1,52
B17R1	17,30	1,28	1,35	A17R1	17,69	1,60	1,55
S20R3	19,57	1,55	1,57	S15R3	14,72	1,50	1,48
M13R1	12,92	1,28	1,29	I15R2	15,56	1,29	1,36
B13R1	13,09	1,19	1,23	I13R1	12,29	1,26	1,23
A20R1	20,16	1,54	1,52	M15R3	14,95	1,33	1,37
A17R1	17,69	1,60	1,58	B17R1	17,30	1,28	1,37
S15R3	14,72	1,50	1,47	S20R3	19,57	1,55	1,57
I15R2	15,56	1,29	1,35	M13R1	12,92	1,28	1,30
I13R1	12,29	1,26	1,25	B13R1	13,09	1,19	1,20
M15R3	14,95	1,33	1,36	A20R1	20,16	1,54	1,52
B17R1	17,30	1,28	1,36	A17R1	17,69	1,60	1,52
S20R3	19,57	1,55	1,56	S15R3	14,72	1,50	1,46
M13R1	12,92	1,28	1,29	I15R2	15,56	1,29	1,37
B13R1	13,09	1,19	1,23	I13R1	12,29	1,26	1,22
A20R1	20,16	1,54	1,52	M15R3	14,95	1,33	1,38
A17R1	17,69	1,60	1,58	B17R1	17,30	1,28	1,36
S15R3	14,72	1,50	1,47	S20R3	19,57	1,55	1,57
I15R2	15,56	1,29	1,35	M13R1	12,92	1,28	1,29
I13R1	12,29	1,26	1,23	B13R1	13,09	1,19	1,19
M15R3	14,95	1,33	1,36	A20R1	20,16	1,54	1,52
B17R1	17,30	1,28	1,36	A17R1	17,69	1,60	1,53
S20R3	19,57	1,55	1,56	S15R3	14,72	1,50	1,45
M13R1	12,92	1,28	1,29	I15R2	15,56	1,29	1,37

Veloc. 20 mm/s		Todas as profundidades juntas (PT).					
Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].	Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].
I13R1	12,33	1,26	1,24	I17R3	17,32	1,40	1,45
M15R2	14,87	1,33	1,33	S15R2	14,99	1,52	1,53
S17R2	17,89	1,65	1,44	S13R1	13,03	1,36	1,35
B20R2	20,18	1,45	1,52	A20R1	20,23	1,54	1,51
A15R2	14,78	1,38	1,36	B13R3	12,44	1,16	1,18
I17R3	17,32	1,40	1,42	I13R1	12,33	1,26	1,16
S15R2	14,99	1,52	1,56	M15R2	14,87	1,33	1,35
S13R1	13,03	1,36	1,36	S17R2	17,89	1,65	1,43
A20R1	20,23	1,54	1,52	B20R2	20,18	1,45	1,52
B13R3	12,44	1,16	1,18	A15R2	14,78	1,38	1,38
I13R1	12,33	1,26	1,20	I17R3	17,32	1,40	1,44
M15R2	14,87	1,33	1,34	S15R2	14,99	1,52	1,54
S17R2	17,89	1,65	1,43	S13R1	13,03	1,36	1,35
B20R2	20,18	1,45	1,52	A20R1	20,23	1,54	1,51
A15R2	14,78	1,38	1,37	B13R3	12,44	1,16	1,17
I17R3	17,32	1,40	1,43	I13R1	12,33	1,26	1,16
S15R2	14,99	1,52	1,54	M15R2	14,87	1,33	1,36
S13R1	13,03	1,36	1,35	S17R2	17,89	1,65	1,43
A20R1	20,23	1,54	1,52	B20R2	20,18	1,45	1,52
B13R3	12,44	1,16	1,18	A15R2	14,78	1,38	1,39
I13R1	12,33	1,26	1,17	I17R3	17,32	1,40	1,47
M15R2	14,87	1,33	1,34	S15R2	14,99	1,52	1,56
S17R2	17,89	1,65	1,43	S13R1	13,03	1,36	1,35
B20R2	20,18	1,45	1,52	A20R1	20,23	1,54	1,51
A15R2	14,78	1,38	1,37	B13R3	12,44	1,16	1,17

Veloc. 30 mm/s		Todas as profundidades juntas (PT).					
Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].	Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].
B13R2	12,96	1,18	1,22	B17R1	17,77	1,31	1,43
S15R3	15,02	1,52	1,53	M13R1	13,18	1,28	1,30
M17R3	17,27	1,50	1,47	B15R3	14,92	1,21	1,21
I20R1	19,78	1,54	1,56	I13R3	12,54	1,26	1,27
M20R3	19,96	1,56	1,55	A17R2	16,75	1,61	1,52
B17R1	17,77	1,31	1,44	B13R2	12,96	1,18	1,22
M13R1	13,18	1,28	1,30	S15R3	15,02	1,52	1,52
B15R3	14,92	1,21	1,21	M17R3	17,27	1,50	1,49
I13R3	12,54	1,26	1,28	I20R1	19,78	1,54	1,56
A17R2	16,75	1,61	1,53	M20R3	19,96	1,56	1,55
B13R2	12,96	1,18	1,23	B17R1	17,77	1,31	1,43
S15R3	15,02	1,52	1,54	M13R1	13,18	1,28	1,30
M17R3	17,27	1,50	1,47	B15R3	14,92	1,21	1,21
I20R1	19,78	1,54	1,56	I13R3	12,54	1,26	1,26
M20R3	19,96	1,56	1,56	A17R2	16,75	1,61	1,52
B17R1	17,77	1,31	1,44	B13R2	12,96	1,18	1,22
M13R1	13,18	1,28	1,30	S15R3	15,02	1,52	1,52
B15R3	14,92	1,21	1,21	M17R3	17,27	1,50	1,49
I13R3	12,54	1,26	1,28	I20R1	19,78	1,54	1,56
A17R2	16,75	1,61	1,53	M20R3	19,96	1,56	1,55
B13R2	12,96	1,18	1,22	B17R1	17,77	1,31	1,43
S15R3	15,02	1,52	1,53	M13R1	13,18	1,28	1,30
M17R3	17,27	1,50	1,47	B15R3	14,92	1,21	1,20
I20R1	19,78	1,54	1,56	I13R3	12,54	1,26	1,26
M20R3	19,96	1,56	1,55	A17R2	16,75	1,61	1,52

Veloc. 45 mm/s		Todas as profundidades juntas (PT).					
Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].	Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].
S13R2	12,76	1,37	1,24	B15R1	14,99	1,19	1,11
I15R3	15,43	1,29	1,32	S17R3	19,03	1,58	1,53
A17R3	16,70	1,60	1,49	I20R2	19,65	1,54	1,56
M20R3	19,79	1,56	1,56	B15R2	15,05	1,20	1,16
B13R2	12,93	1,17	1,20	M17R3	17,42	1,49	1,49
B15R1	14,99	1,19	1,10	S13R2	12,76	1,37	1,23
S17R3	19,03	1,58	1,55	I15R3	15,43	1,29	1,32
I20R2	19,65	1,54	1,56	A17R3	16,70	1,60	1,51
B15R2	15,05	1,20	1,14	M20R3	19,79	1,56	1,56
M17R3	17,42	1,49	1,47	B13R2	12,93	1,17	1,20
S13R2	12,76	1,37	1,25	B15R1	14,99	1,19	1,12
I15R3	15,43	1,29	1,32	S17R3	19,03	1,58	1,53
A17R3	16,70	1,60	1,51	I20R2	19,65	1,54	1,56
M20R3	19,79	1,56	1,56	B15R2	15,05	1,20	1,17
B13R2	12,93	1,17	1,19	M17R3	17,42	1,49	1,49
B15R1	14,99	1,19	1,11	S13R2	12,76	1,37	1,23
S17R3	19,03	1,58	1,55	I15R3	15,43	1,29	1,32
I20R2	19,65	1,54	1,56	A17R3	16,70	1,60	1,50
B15R2	15,05	1,20	1,15	M20R3	19,79	1,56	1,56
M17R3	17,42	1,49	1,48	B13R2	12,93	1,17	1,20
S13R2	12,76	1,37	1,24	B15R1	14,99	1,19	1,13
I15R3	15,43	1,29	1,32	S17R3	19,03	1,58	1,53
A17R3	16,70	1,60	1,52	I20R2	19,65	1,54	1,56
M20R3	19,79	1,56	1,56	B15R2	15,05	1,20	1,19
B13R2	12,93	1,17	1,19	M17R3	17,42	1,49	1,49

Veloc. 70 mm/s		Todas as profundidades juntas (PT).					
Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].	Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].
S13R2	12,93	1,36	1,39	A20R3	20,23	1,54	1,51
B15R2	15,07	1,22	1,16	I17R2	16,92	1,41	1,40
M17R3	17,34	1,49	1,45	S17R1	19,16	1,58	1,52
S20R1	20,20	1,53	1,52	S15R2	14,97	1,52	1,62
M20R2	19,83	1,56	1,56	A15R3	14,43	1,40	1,33
A20R3	20,23	1,54	1,51	S13R2	12,93	1,36	1,40
I17R2	16,92	1,41	1,40	B15R2	15,07	1,22	1,19
S17R1	19,16	1,58	1,53	M17R3	17,34	1,49	1,48
S15R2	14,97	1,52	1,62	S20R1	20,20	1,53	1,52
A15R3	14,43	1,40	1,32	M20R2	19,83	1,56	1,56
S13R2	12,93	1,36	1,39	A20R3	20,23	1,54	1,51
B15R2	15,07	1,22	1,17	I17R2	16,92	1,41	1,39
M17R3	17,34	1,49	1,47	S17R1	19,16	1,58	1,52
S20R1	20,20	1,53	1,52	S15R2	14,97	1,52	1,61
M20R2	19,83	1,56	1,56	A15R3	14,43	1,40	1,33
A20R3	20,23	1,54	1,51	S13R2	12,93	1,36	1,40
I17R2	16,92	1,41	1,41	B15R2	15,07	1,22	1,20
S17R1	19,16	1,58	1,52	M17R3	17,34	1,49	1,49
S15R2	14,97	1,52	1,62	S20R1	20,20	1,53	1,52
A15R3	14,43	1,40	1,33	M20R2	19,83	1,56	1,57
S13R2	12,93	1,36	1,40	A20R3	20,23	1,54	1,51
B15R2	15,07	1,22	1,18	I17R2	16,92	1,41	1,40
M17R3	17,34	1,49	1,48	S17R1	19,16	1,58	1,52
S20R1	20,20	1,53	1,52	S15R2	14,97	1,52	1,60
M20R2	19,83	1,56	1,56	A15R3	14,43	1,40	1,33

Veloc. 100 mm/s		Todas as profundidades juntas (PT).					
Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].	Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].
M13R2	12,89	1,27	1,28	A13R3	12,87	1,29	1,31
I15R3	15,55	1,29	1,35	S13R1	12,91	1,36	1,36
A17R2	16,87	1,62	1,55	I13R3	12,46	1,26	1,26
B20R3	20,30	1,52	1,52	M17R3	17,49	1,48	1,50
B15R3	14,93	1,19	1,11	S15R3	14,97	1,55	1,58
A13R3	12,87	1,29	1,30	M13R2	12,89	1,27	1,29
S13R1	12,91	1,36	1,36	I15R3	15,55	1,29	1,35
I13R3	12,46	1,26	1,25	A17R2	16,87	1,62	1,57
M17R3	17,49	1,48	1,50	B20R3	20,30	1,52	1,51
S15R3	14,97	1,55	1,57	B15R3	14,93	1,19	1,14
M13R2	12,89	1,27	1,28	A13R3	12,87	1,29	1,31
I15R3	15,55	1,29	1,35	S13R1	12,91	1,36	1,37
A17R2	16,87	1,62	1,56	I13R3	12,46	1,26	1,25
B20R3	20,30	1,52	1,52	M17R3	17,49	1,48	1,49
B15R3	14,93	1,19	1,12	S15R3	14,97	1,55	1,58
A13R3	12,87	1,29	1,30	M13R2	12,89	1,27	1,29
S13R1	12,91	1,36	1,36	I15R3	15,55	1,29	1,35
I13R3	12,46	1,26	1,26	A17R2	16,87	1,62	1,57
M17R3	17,49	1,48	1,50	B20R3	20,30	1,52	1,51
S15R3	14,97	1,55	1,58	B15R3	14,93	1,19	1,15
M13R2	12,89	1,27	1,28	A13R3	12,87	1,29	1,31
I15R3	15,55	1,29	1,35	S13R1	12,91	1,36	1,37
A17R2	16,87	1,62	1,56	I13R3	12,46	1,26	1,25
B20R3	20,30	1,52	1,51	M17R3	17,49	1,48	1,49
B15R3	14,93	1,19	1,13	S15R3	14,97	1,55	1,58

Veloc. 100 mm/s		Todas as profundidades juntas (PT) do cilindro "B".					
Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].	Nomes	Umid. [%]	Densid. Testem. [kg/dm ³]	Densid. Calculada [kg/dm ³].
A13R4	12,52	1,30	1,32	M17R4	17,47	1,53	1,55
A15R4	14,70	1,41	1,41	M20R4	19,96	1,56	1,54
A17R4	16,92	1,61	1,51	B13R4	12,81	1,17	1,18
A20R4	20,18	1,55	1,52	B15R4	14,53	1,18	1,12
M13R4	12,90	1,30	1,28	B17R4	17,31	1,29	1,33
M15R4	14,66	1,35	1,35	B20R4	20,06	1,50	1,52
M17R4	17,47	1,53	1,56	A13R4	12,52	1,30	1,34
M20R4	19,96	1,56	1,55	A15R4	14,70	1,41	1,43
B13R4	12,81	1,17	1,17	A17R4	16,92	1,61	1,55
B15R4	14,53	1,18	1,13	A20R4	20,18	1,55	1,51
B17R4	17,31	1,29	1,33	M13R4	12,90	1,30	1,28
B20R4	20,06	1,50	1,52	M15R4	14,66	1,35	1,38
A13R4	12,52	1,30	1,33	M17R4	17,47	1,53	1,54
A15R4	14,70	1,41	1,42	M20R4	19,96	1,56	1,54
A17R4	16,92	1,61	1,53	B13R4	12,81	1,17	1,18
A20R4	20,18	1,55	1,52	B15R4	14,53	1,18	1,13
M13R4	12,90	1,30	1,28	B17R4	17,31	1,29	1,33
M15R4	14,66	1,35	1,36	B20R4	20,06	1,50	1,53
M17R4	17,47	1,53	1,56	A13R4	12,52	1,30	1,34
M20R4	19,96	1,56	1,55	A15R4	14,70	1,41	1,44
B13R4	12,81	1,17	1,18	A17R4	16,92	1,61	1,55
B15R4	14,53	1,18	1,12	A20R4	20,18	1,55	1,51
B17R4	17,31	1,29	1,33	M13R4	12,90	1,30	1,28
B20R4	20,06	1,50	1,52	M15R4	14,66	1,35	1,39
A13R4	12,52	1,30	1,33	M17R4	17,47	1,53	1,54
A15R4	14,70	1,41	1,43	M20R4	19,96	1,56	1,55
A17R4	16,92	1,61	1,54	B13R4	12,81	1,17	1,18
A20R4	20,18	1,55	1,51	B15R4	14,53	1,18	1,13
M13R4	12,90	1,30	1,28	B17R4	17,31	1,29	1,34
M15R4	14,66	1,35	1,38	B20R4	20,06	1,50	1,53

Anexo IX – Teste t das médias das densidades (amostras emparelhadas de densidade testemunha e densidade calculada pelos modelos matemáticos)

Tratamento com velocidade de 5 mm/s.							
Nome, média, número de amostras, desvio padrão, erro padrão, correlação e nível de significância da correlação das amostras emparelhadas utilizadas no teste t.							
Nome das amostras		Média	Número de amostras	Desvio Padrão (s)	Erro Padrão (EP)	Correlação	Signific. * 5% **1%
Par 1	Densidade Testemunha	1,4040	10	,1533	4,847E-02	,923	
	Densidade na prof. P1	1,4131	10	,1395	4,412E-02		**
Par 2	Densidade Testemunha	1,4040	10	,1533	4,847E-02	,935	
	Densidade na prof. P2	1,4050	10	,1307	4,132E-02		**
Par 3	Densidade Testemunha	1,4040	10	,1533	4,847E-02	,960	
	Densidade na prof. P3	1,4000	10	,1277	4,040E-02		**
Par 4	Densidade Testemunha	1,4040	10	,1533	4,847E-02	,952	
	Densidade na prof. P4	1,3949	10	,1323	4,183E-02		**
Par 5	Densidade Testemunha	1,4040	10	,1533	4,847E-02	,953	
	Densidade na prof. P5	1,3973	10	,1356	4,289E-02		**
Par 6	Densidade Testemunha	1,4040	10	,1533	4,847E-02	,949	
	Densidade na prof. PM	1,4021	10	,1324	4,188E-02		**
Par 7	Densidade Testemunha	1,4040	50	,1469	2,077E-02	,932	
	Densidade na prof. PT	1,3988	50	,1299	1,838E-02		**

Tratamento com velocidade de 5 mm/s.										
Média, desvio padrão, erro padrão, intervalo de confiança, valor t, teste de hipótese, graus de liberdade e significância bilateral das diferenças das médias das amostras utilizadas no teste t emparelhado.										
Diferenças		Diferença dos pares					Valor da distrib t		g.l.	Signific. Bilateral
		Média * 10 ⁻³	Desvio Padrão (s) * 10 ⁻²	Erro Padrão (EP) * 10 ⁻²	Intervalo de confiança para a média, ao nível de 95% de probabilidade			Aceitar Ho: x-μ ₀ =0 com 95% de probabil.		
					Inferior * 10 ⁻²	Superior * 10 ⁻²		(t < t _{0,025})		
Par 1	Testemunha – P1	-9,1436	5,893	1,863	-5,1299	3,301	-,491	*	9	,635
Par 2	Testemunha – P2	-1,0501	5,591	1,768	-4,1048	3,895	-,059	*	9	,954
Par 3	Testemunha – P3	4,015	4,697	1,485	-2,9585	3,762	,270	*	9	,793
Par 4	Testemunha – P4	9,114	4,882	1,544	-2,5813	4,404	,590	*	9	,570
Par 5	Testemunha – P5	6,669	4,778	1,511	-2,7508	4,085	,441	*	9	,669
Par 6	Testemunha – PM	1,921	4,985	1,576	-3,3738	3,758	,122	*	9	,906
Par 7	Testemunha – PT	5,189	5,375	0,7602	-1,0087	2,047	,683	*	49	,498

Tratamento com velocidade de 10 mm/s.							
Nome, média, número de amostras, desvio padrão, erro padrão, correlação e nível de significância da correlação das amostras emparelhadas utilizadas no teste t.							
Nome das amostras		Média	Número de amostras	Desvio Padrão (s)	Erro Padrão (EP)	Correlação	Signific. * 5% **1%
Par 1	Densidade Testemunha	1,3821	10	,1495	4,728E-02	,972	
	Densidade na prof. P1	1,4001	10	,1382	4,369E-02		**
Par 2	Densidade Testemunha	1,3821	10	,1495	4,728E-02	,978	
	Densidade na prof. P2	1,4023	10	,1271	4,019E-02		**
Par 3	Densidade Testemunha	1,3821	10	,1495	4,728E-02	,959	
	Densidade na prof. P3	1,3996	10	,1248	3,948E-02		**
Par 4	Densidade Testemunha	1,3821	10	,1495	4,728E-02	,940	
	Densidade na prof. P4	1,3915	10	,1250	3,954E-02		**
Par 5	Densidade Testemunha	1,3821	10	,1495	4,728E-02	,938	
	Densidade na prof. P5	1,3856	10	,1308	4,137E-02		**
Par 6	Densidade Testemunha	1,3821	10	,1495	4,728E-02	,968	
	Densidade na prof. PM	1,3958	10	,1277	4,039E-02		**
Par 7	Densidade Testemunha	1,3821	50	,1433	2,026E-02	,957	
	Densidade na prof. PT	1,3941	50	,1222	1,728E-02		**

Tratamento com velocidade de 10 mm/s.										
Média, desvio padrão, erro padrão, intervalo de confiança, valor t, teste de hipótese, graus de liberdade e significância bilateral das diferenças das médias das amostras utilizadas no teste t emparelhado.										
Diferenças		Diferença dos pares					Valor da distrib t		g.l.	Signific. Bilateral
		Média * 10 ⁻³	Desvio Padrão (s) * 10 ⁻²	Erro Padrão (EP) * 10 ⁻²	Intervalo de confiança para a média, ao nível de 95% de probabilidade			Aceitar Ho: x-μ ₀ =0 com 95% de probabil.		
					Inferior * 10 ⁻²	Superior * 10 ⁻²		(t < t _{0,025})		
Par 1	Testemunha – P1	-18,064	3,599	1,138	-4,3808	0,7680	-1,587	*	9	,147
Par 2	Testemunha – P2	-20,209	3,672	1,161	-4,6475	0,6057	-1,740	*	9	,116
Par 3	Testemunha – P3	-17,572	4,645	1,469	-5,0803	1,566	-1,196	*	9	,262
Par 4	Testemunha – P4	-9,4013	5,339	1,688	-4,7592	2,879	-,557	*	9	,591
Par 5	Testemunha – P5	-3,5400	5,276	1,669	-4,1286	3,421	-,212	*	9	,837
Par 6	Testemunha – PM	-13,757	4,110	1,300	-4,3155	1,564	-1,059	*	9	,317
Par 7	Testemunha – PT	-12,003	4,399	0,6221	-2,4505	0,04991	-1,929	*	49	,059

Tratamento com velocidade de 20 mm/s.							
Nome, média, número de amostras, desvio padrão, erro padrão, correlação e nível de significância da correlação das amostras emparelhadas utilizadas no teste t.							
Nome das amostras		Média	Número de amostras	Desvio Padrão (s)	Erro Padrão (EP)	Correlação	Signific. * 5% **1%
Par 1	Densidade Testemunha	1,4039	10	,1427	4,511E-02	,843	
	Densidade na prof. P1	1,3943	10	,1237	3,913E-02		**
Par 2	Densidade Testemunha	1,4039	10	,1427	4,511E-02	,835	
	Densidade na prof. P2	1,3922	10	,1284	4,060E-02		**
Par 3	Densidade Testemunha	1,4039	10	,1427	4,511E-02	,823	
	Densidade na prof. P3	1,3877	10	,1315	4,159E-02		**
Par 4	Densidade Testemunha	1,4039	10	,1427	4,511E-02	,807	
	Densidade na prof. P4	1,3884	10	,1296	4,099E-02		**
Par 5	Densidade Testemunha	1,4039	10	,1427	4,511E-02	,762	
	Densidade na prof. P5	1,3897	10	,1322	4,180E-02		*
Par 6	Densidade Testemunha	1,4039	10	,1427	4,511E-02	,818	
	Densidade na prof. PM	1,3905	10	,1283	4,058E-02		**
Par 7	Densidade Testemunha	1,4039	50	,1367	1,933E-02	,817	
	Densidade na prof. PT	1,3885	50	,1247	1,763E-02		**

Tratamento com velocidade de 20 mm/s.										
Média, desvio padrão, erro padrão, intervalo de confiança, valor t, teste de hipótese, graus de liberdade e significância bilateral das diferenças das médias das amostras utilizadas no teste t emparelhado.										
Diferenças		Diferença dos pares					Valor da distrib t	Aceitar	g.l.	Signific. Bilateral
		Média * 10 ⁻³	Desvio Padrão (s) * 10 ⁻²	Erro Padrão (EP) * 10 ⁻²	Intervalo de confiança para a média, ao nível de 95% de probabilidade			Ho: x-μ ₀ =0 com 95% de probabil.		
					Inferior * 10 ⁻²	Superior * 10 ⁻²		• (t < t _{0,025})		
Par 1	Testemunha – P1	9,582	7,691	2,432	-4,5439	6,460	,394	*	9	,703
Par 2	Testemunha – P2	11,700	7,905	2,500	-4,4850	6,825	,468	*	9	,651
Par 3	Testemunha – P3	16,250	8,233	2,603	-4,2649	7,514	,624	*	9	,548
Par 4	Testemunha – P4	15,540	8,557	2,706	-4,5679	7,675	,574	*	9	,580
Par 5	Testemunha – P5	14,250	9,532	3,014	-5,3935	8,244	,473	*	9	,648
Par 6	Testemunha – PM	13,460	8,285	2,620	-4,5802	7,273	,514	*	9	,620
Par 7	Testemunha – PT	15,420	7,993	1,130	-0,72962	3,813	1,364	*	49	,179

Tratamento com velocidade de 30 mm/s.							
Nome, média, número de amostras, desvio padrão, erro padrão, correlação e nível de significância da correlação das amostras emparelhadas utilizadas no teste t.							
Nome das amostras		Média	Número de amostras	Desvio Padrão (s)	Erro Padrão (EP)	Correlação	Signific. * 5% **1%
Par 1	Densidade Testemunha	1,3971	10	,1634	5,168E-02	,963	
	Densidade na prof. P1	1,4113	10	,1404	4,441E-02		**
Par 2	Densidade Testemunha	1,3971	10	,1634	5,168E-02	,951	
	Densidade na prof. P2	1,4129	10	,1413	4,469E-02		**
Par 3	Densidade Testemunha	1,3971	10	,1634	5,168E-02	,946	
	Densidade na prof. P3	1,4033	10	,1406	4,446E-02		**
Par 4	Densidade Testemunha	1,3971	10	,1634	5,168E-02	,942	
	Densidade na prof. P4	1,4089	10	,1444	4,567E-02		**
Par 5	Densidade Testemunha	1,3971	10	,1634	5,168E-02	,941	
	Densidade na prof. P5	1,3993	10	,1443	4,563E-02		**
Par 6	Densidade Testemunha	1,3971	10	,1634	5,168E-02	,951	
	Densidade na prof. PM	1,4071	10	,1419	4,486E-02		**
Par 7	Densidade Testemunha	1,3971	50	,1566	2,215E-02	,947	
	Densidade na prof. PT	1,4080	50	,1366	1,932E-02		**

Tratamento com velocidade de 30 mm/s.										
Média, desvio padrão, erro padrão, intervalo de confiança, valor t, teste de hipótese, graus de liberdade e significância bilateral das diferenças das médias das amostras utilizadas no teste t emparelhado.										
Diferenças		Diferença dos pares					Valor da distrib t		g.l.	Signific. Bilateral
		Média * 10 ⁻³	Desvio Padrão (s) * 10 ⁻²	Erro Padrão (EP) * 10 ⁻²	Intervalo de confiança para a média, ao nível de 95% de probabilidade			Aceitar Ho: x-μ ₀ =0 com 95% de probabil.		
					Inferior * 10 ⁻²	Superior * 10 ⁻²		(t < t _{0,025})		
Par 1	Testemunha – P1	-14,209	4,742	1,500	-4,8131	1,971	-,948	*	9	,368
Par 2	Testemunha – P2	-15,768	5,260	1,664	-5,3399	2,186	-,948	*	9	,368
Par 3	Testemunha – P3	-6,2174	5,491	1,737	-4,5500	3,307	-,358	*	9	,729
Par 4	Testemunha – P4	-11,810	5,556	1,757	-5,1558	2,794	-,672	*	9	,518
Par 5	Testemunha – P5	-2,2457	5,624	1,779	-4,2479	3,799	-,126	*	9	,902
Par 6	Testemunha – PM	-10,050	5,245	1,659	-4,7569	2,747	-,606	*	9	,560
Par 7	Testemunha – PT	-10,955	5,178	0,7323	-2,5672	0,3761	-1,496	*	49	,141

Tratamento com velocidade de 45 mm/s.							
Nome, média, número de amostras, desvio padrão, erro padrão, correlação e nível de significância da correlação das amostras emparelhadas utilizadas no teste t.							
Nome das amostras		Média	Número de amostras	Desvio Padrão (s)	Erro Padrão (EP)	Correlação	Signific. * 5% **1%
Par 1	Densidade Testemunha	1,3994	10	,1764	5,578E-02	,949	
	Densidade na prof. P1	1,3747	10	,1787	5,652E-02		**
Par 2	Densidade Testemunha	1,3994	10	,1764	5,578E-02	,963	
	Densidade na prof. P2	1,3737	10	,1774	5,608E-02		**
Par 3	Densidade Testemunha	1,3994	10	,1764	5,578E-02	,968	
	Densidade na prof. P3	1,3699	10	,1772	5,604E-02		**
Par 4	Densidade Testemunha	1,3994	10	,1764	5,578E-02	,955	
	Densidade na prof. P4	1,3633	10	,1780	5,628E-02		**
Par 5	Densidade Testemunha	1,3994	10	,1764	5,578E-02	,949	
	Densidade na prof. P5	1,3619	10	,1752	5,540E-02		**
Par 6	Densidade Testemunha	1,3994	10	,1764	5,578E-02	,958	
	Densidade na prof. PM	1,3687	10	,1771	5,600E-02		**
Par 7	Densidade Testemunha	1,3994	50	,1690	2,391E-02	,954	
	Densidade na prof. PT	1,3667	50	,1716	2,427E-02		**

Tratamento com velocidade de 45mm/s.										
Média, desvio padrão, erro padrão, intervalo de confiança, valor t, teste de hipótese, graus de liberdade e significância bilateral das diferenças das médias das amostras utilizadas no teste t emparelhado.										
Diferenças		Diferença dos pares					Valor da distrib t		g.l.	Signific. Bilateral
		Média * 10 ⁻³	Desvio Padrão (s) * 10 ⁻²	Erro Padrão (EP) * 10 ⁻²	Intervalo de confiança para a média, ao nível de 95% de probabilidade			Aceitar Ho: x-μ ₀ =0 com 95% de probabil.		
					Inferior * 10 ⁻²	Superior * 10 ⁻²		(t < t _{0,025})		
Par 1	Testemunha – P1	24,67	5,667	1,792	-1,5866	6,522	1,377	*	9	,202
Par 2	Testemunha – P2	25,67	4,831	1,528	-0,88873	6,022	1,680	*	9	,127
Par 3	Testemunha – P3	29,49	4,451	1,408	-0,23489	6,133	2,095	*	9	,066
Par 4	Testemunha – P4	36,10	5,316	1,681	-0,19203	7,413	2,148	*	9	,060
Par 5	Testemunha – P5	37,46	5,599	1,770	-0,25872	7,751	2,116	*	9	,063
Par 6	Testemunha – PM	30,68	5,122	1,620	-0,59598	6,732	1,894	*	9	,091
Par 7	Testemunha – PT	32,63	5,169	0,7311	1,794	4,732	4,464		49	,000

Tratamento com velocidade de 70 mm/s.							
Nome, média, número de amostras, desvio padrão, erro padrão, correlação e nível de significância da correlação das amostras emparelhadas utilizadas no teste t.							
Nome das amostras		Média	Número de amostras	Desvio Padrão (s)	Erro Padrão (EP)	Correlação	Signific. * 5% **1%
Par 1	Densidade Testemunha	1,4604	10	,1139	3,602E-02	,953	
	Densidade na prof. P1	1,4493	10	,1221	3,862E-02		**
Par 2	Densidade Testemunha	1,4604	10	,1139	3,602E-02	,956	
	Densidade na prof. P2	1,4414	10	,1247	3,943E-02		**
Par 3	Densidade Testemunha	1,4604	10	,1139	3,602E-02	,943	
	Densidade na prof. P3	1,4442	10	,1291	4,081E-02		**
Par 4	Densidade Testemunha	1,4604	10	,1139	3,602E-02	,963	
	Densidade na prof. P4	1,4326	10	,1312	4,150E-02		**
Par 5	Densidade Testemunha	1,4604	10	,1139	3,602E-02	,948	
	Densidade na prof. P5	1,4465	10	,1215	3,843E-02		**
Par 6	Densidade Testemunha	1,4604	10	,1139	3,602E-02	,956	
	Densidade na prof. PM	1,4428	10	,1252	3,961E-02		**
Par 7	Densidade Testemunha	1,4604	50	,1092	1,544E-02	,930	
	Densidade na prof. PT	1,4509	50	,1223	1,729E-02		**

Tratamento com velocidade de 70 mm/s.										
Média, desvio padrão, erro padrão, intervalo de confiança, valor t, teste de hipótese, graus de liberdade e significância bilateral das diferenças das médias das amostras utilizadas no teste t emparelhado.										
Diferenças		Diferença dos pares					Valor da distrib t		g.l.	Signific. Bilateral
		Média * 10 ⁻³	Desvio Padrão (s) * 10 ⁻²	Erro Padrão (EP) * 10 ⁻²	Intervalo de confiança para a média, ao nível de 95% de probabilidade			Aceitar Ho: x-μ ₀ =0 com 95% de probabil.		
					Inferior * 10 ⁻²	Superior * 10 ⁻²		(t < t _{0,025})		
Par 1	Testemunha – P1	11,12	3,706	1,172	-1,5389	3,763	,949	*	9	,367
Par 2	Testemunha – P2	18,96	3,709	1,173	-0,75732	4,549	1,616	*	9	,140
Par 3	Testemunha – P3	16,19	4,352	1,376	-1,4940	4,733	1,177	*	9	,270
Par 4	Testemunha – P4	27,79	3,740	1,183	0,1035	5,454	2,350		9	,043
Par 5	Testemunha – P5	13,92	3,855	1,219	-1,3654	4,150	1,142	*	9	,283
Par 6	Testemunha – PM	17,60	3,703	1,171	-0,8893	4,409	1,503	*	9	,167
Par 7	Testemunha – PT	9,460	4,533	0,6410	-0,34226	2,234	1,476	*	49	,146

Tratamento com velocidade de 100 mm/s.							
Nome, média, número de amostras, desvio padrão, erro padrão, correlação e nível de significância da correlação das amostras emparelhadas utilizadas no teste t.							
Nome das amostras		Média	Número de amostras	Desvio Padrão (s)	Erro Padrão (EP)	Correlação	Signific. * 5% **1%
Par 1	Densidade Testemunha	1,3839	10	,1475	4,664E-02	,960	
	Densidade na prof. P1	1,3896	10	,1523	4,818E-02		**
Par 2	Densidade Testemunha	1,3839	10	,1475	4,664E-02	,965	
	Densidade na prof. P2	1,3848	10	,1499	4,741E-02		**
Par 3	Densidade Testemunha	1,3839	10	,1475	4,664E-02	,970	
	Densidade na prof. P3	1,3817	10	,1468	4,642E-02		**
Par 4	Densidade Testemunha	1,3839	10	,1475	4,664E-02	,974	
	Densidade na prof. P4	1,3798	10	,1449	4,581E-02		**
Par 5	Densidade Testemunha	1,3839	10	,1475	4,664E-02	,975	
	Densidade na prof. P5	1,3776	10	,1442	4,559E-02		**
Par 6	Densidade Testemunha	1,3839	10	,1475	4,664E-02	,970	
	Densidade na prof. PM	1,3827	10	,1475	4,664E-02		**
Par 7	Densidade Testemunha	1,3839	50	,1414	1,999E-02	,968	
	Densidade na prof. PT	1,3834	50	,1415	2,002E-02		**

Tratamento com velocidade de 100 mm/s.										
Média, desvio padrão, erro padrão, intervalo de confiança, valor t, teste de hipótese, graus de liberdade e significância bilateral das diferenças das médias das amostras utilizadas no teste t emparelhado.										
Diferenças		Diferença dos pares					Valor da distrib t		g.l.	Signific. Bilateral
		Média * 10 ⁻³	Desvio Padrão (s) * 10 ⁻²	Erro Padrão (EP) * 10 ⁻²	Intervalo de confiança para a média, ao nível de 95% de probabilidade			Aceitar Ho: x-μ ₀ =0 com 95% de probabil.		
					Inferior * 10 ⁻²	Superior * 10 ⁻²		(t < t _{0,025})		
Par 1	Testemunha – P1	-5,6459	4,245	1,342	-3,6011	2,472	-,421	*	9	,684
Par 2	Testemunha – P2	-0,8726	3,951	1,249	-2,9136	2,739	-,070	*	9	,946
Par 3	Testemunha – P3	2,231	3,603	1,139	-2,3544	2,801	,196	*	9	,849
Par 4	Testemunha – P4	4,167	3,349	1,059	-1,9787	2,812	,394	*	9	,703
Par 5	Testemunha – P5	6,309	3,249	1,027	-1,6931	2,955	,614	*	9	,554
Par 6	Testemunha – PM	1,238	3,639	1,151	-2,4792	2,727	,108	*	9	,917
Par 7	Testemunha – PT	0,4839	3,596	0,5085	-0,9735	1,070	,095	*	49	,925

Tratamento com velocidade de 100 mm/s do cilindro “B”.							
Nome, média, número de amostras, desvio padrão, erro padrão, correlação e nível de significância da correlação das amostras emparelhadas utilizadas no teste t.							
Nome das amostras		média	Número de amostras	Desvio Padrão (s)	Erro Padrão (EP)	Correlação	Signific. * 5% **1%
Par 1	Densidade Testemunha	1,3951	12	,1522	4,394E-02	,967	
	Densidade na prof. P1	1,3872	12	,1496	4,320E-02		**
Par 2	Densidade Testemunha	1,3951	12	,1522	4,394E-02	,968	
	Densidade na prof. P2	1,3861	12	,1494	4,312E-02		**
Par 3	Densidade Testemunha	1,3951	12	,1522	4,394E-02	,969	
	Densidade na prof. P3	1,3912	12	,1489	4,299E-02		**
Par 4	Densidade Testemunha	1,3951	12	,1522	4,394E-02	,968	
	Densidade na prof. P4	1,3953	12	,1480	4,272E-02		**
Par 5	Densidade Testemunha	1,3951	12	,1522	4,394E-02	,967	
	Densidade na prof. P5	1,3960	12	,1469	4,241E-02		**
Par 6	Densidade Testemunha	1,3951	12	,1522	4,394E-02	,971	
	Densidade na prof. PM	1,3912	12	,1482	4,277E-02		**
Par 7	Densidade Testemunha	1,3951	60	,1470	1,897E-02	,968	
	Densidade na prof. PT	1,3926	60	,1428	1,844E-02		**

Tratamento com velocidade de 100 mm/s do cilindro “B”.										
Média, desvio padrão, erro padrão, intervalo de confiança, valor t, teste de hipótese, graus de liberdade e significância bilateral das diferenças das médias das amostras utilizadas no teste t emparelhado.										
Diferenças		Diferença dos pares					Valor da distrib t		g.l.	Signific. Bilateral
		Média * 10 ⁻³	Desvio Padrão (s) * 10 ⁻²	Erro Padrão (EP) * 10 ⁻²	Intervalo de confiança para a média, ao nível de 95% de probabilidade			Ho: x-μ ₀ =0 com 95% de probabil.		
					Inferior * 10 ⁻²	Superior * 10 ⁻²		(t < t _{0,025})		
Par 1	Testemunha – P1	7,952	3,878	1,119	-1,6688	3,259	,710	*	11	,492
Par 2	Testemunha – P2	8,998	3,828	1,105	-1,5326	3,332	,814	*	11	,433
Par 3	Testemunha – P3	3,912	3,735	1,078	-1,9816	2,764	,363	*	11	,724
Par 4	Testemunha – P4	-0,208	3,806	1,099	-2,4391	2,398	-,019	*	11	,985
Par 5	Testemunha – P5	-0,859	3,863	1,115	-2,5404	2,369	-,077	*	11	,940
Par 6	Testemunha – PM	3,959	3,662	1,057	-1,9307	2,722	,375	*	11	,715
Par 7	Testemunha – PT	2,522	3,685	0,476	-0,6998	1,204	,530	*	59	,598

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. S., SOUZA, C. M., FIGUEIREDO, M. S. Influência da compressão, textura e umidade na compactação do solo. Viçosa, Minas Gerais : SBEA, 1995. 12 p., paper n. 95-4-353.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, ASAE R313.1. St. Joseph, Michigan, EUA : Agricultural Engineers Yearbook os Standards, 2 p., 1978.

ARAGÓN, A., GARCÍA, M. A resistência de solos à penetração em função da umidade. Viçosa, Minas Gerais : SBEA, 1995. 17 p., paper n. 95-3-188.

AYERS, P. D., PERUMPRAL, J. V. Moisture and density effect on cone index. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v. 25, n. 5, p. 1169-1172, 1982.

BAILEY, A. C., JOHNSON, C. E., SCHAFER, R. L. A Model for Agricultural Soil Compaction. Journal of Agricultural Engineering Research, London, v. 33, p. 257-262, 1986.

BALASTREIRE, L. A., AMARAL, J. R. Desenvolvimento e construção de um penetrógrafo eletrônico. Campinas, São Paulo : SBEA, 1994. 12 p., paper n. 94-4-281.

BALASTREIRE, LUIZ ANTÔNIO. Máquinas Agrícolas. São Paulo : Manole, 1987. 310 p.

- BALBUENA, R. H., ARAGON, A., MACDONAGH, P. M., et al. Efeito de três sistemas de preparo do solo na resistência à penetração e a densidade de um solo. Viçosa, Minas Gerais : SBEA, 1995. 13 p., paper n. 95-4-351.
- BENGOUGH, A. G., MULLINS, C. E., WILSON, G., et al. The design, construction and use of a rotating-tip penetrometer. Journal of Agricultural Engineering Research, London, v.48, p. 223-227, 1991.
- BENGOUGH, A. G. Penetrometer resistance equation: Its derivation and the effect of soil adhesion. Journal of Agricultural Engineering Research, London, v.53, p. 163-168, 1992.
- BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v. 33, n. 2, p. 519-523, 1990.
- CAPPELLI, N. L., DANIEL, L. A., MIGUEL, M. A. Penetrômetro eletrônico para determinação de índice de cone de solos agrícolas. Viçosa, Minas Gerais : SBEA, 1995. 9 p., paper n. 95-4-363.
- CARTER, L. M. Portable recording penetrometer measures soil strength profiles. Agricultural Engineering, St. Joseph, MI, v. 46, n. 6, p. 348-349, 1967.
- DANIEL, L. A., LUCARELLI, J. R. de F., CARVALHO, J. F. de. Efeito do método de preparo do solo na formação e localização de camadas compactadas. Viçosa, Minas Gerais : SBEA, 1995. 14 p., paper n. 95-4-314.
- GILL, W. R., VANDENBERG, G. E. Soil dynamics in tillage and traction. Whashington : U.S. Department of Agriculture, 1967. 511 p.
- GILL, W.R. Influence of compaction hardening of soil on penetration resistance. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v. 11, n. 6, p. 741-745, 1968.
- HENDRICK, J. G. Recording soil penetrometer. Journal of Agricultural Engineering Research, London, v.14, n. 2, p. 183-186, 1969.

- HENDRICK, J. G., GILL, W. R. Soil reaction to high speed cutting. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v. 16, n. 3, p. 401-403, 1973.
- JACOMINE, P. K. T., CASTRO FILHO, C., MOREIRA, M. L. C., et al. Guia para identificação dos principais solos do Estado de Mato Grosso. Cuiabá : PNUD, PRODEAGRO, 1995. 118 p.
- KEEDWELL, M. J. Rheology and soil mechanics. England : Elsevier Science Publishers B. V., 1984. 323 p.
- KOOLEN, A. J., KUIPERS, H. Agricultural soil mechanics. Germany : Springer-Verlag, 1983. 243 p.
- LANÇAS, K. P., SANTOS, C. A. Penetrômetro hidráulico-eletrônico equipado com DGPS para avaliação da compactação do solo. In : BALBUENA, R. H., BENEZ, S. H., JORAJURIA, D. Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el ámbito Latinoamericano. La Plata, Argentina : U.N.L.P., 1998. 612 p. p. 570-576.
- LINS E SILVA, Manfredo Luiz. Influência da densidade e do teor de água do solo no índice de cone de um latossolo Vermelho Escuro. Campinas : UNICAMP, 1994. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1994.
- LINS E SILVA, M. L., SVERZUT, C. B., MANTOVANI, E. C. Desenvolvimento e utilização de um penetrógrafo hidráulico com aquisição eletrônica de dados. Viçosa, Minas Gerais : SBEA, 1995. 27 p., paper n. 95-4-305.
- LINS E SILVA, M. L., SVERZUT, C. B., DANIEL, L. A. Melhoramento eletrônico e hidráulico de um penetrógrafo para aplicação em laboratório e campo. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. Anais ... Poços de Caldas, MG : UFLA e SBEA, 1998. 442 p. p. 409.

LINS E SILVA, M. L., SVERZUT, C. B., DANIEL, L. A. Penetrógrafo eletrônico para utilização em campo e laboratório. In : BALBUENA, R. H., BENEZ, S. H., JORAJURIA, D. Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el ámbito Latinoamericano. La Plata, Argentina : U.N.L.P., 1998. 612 p. p. 577-581.

MANTOVANI, Evandro Chartuni. A soil surface traffic - corn yield model for a cerrado soil in brazil with less than 10 years of cultivation. West Lafayette : Purdue University, 1984. 148 p. Tese (Ph.D. em Engenharia Agrícola) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade de Purdue, 1984.

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. Inf. Agropec., Belo Horizonte, v. 13, p. 52- 55, Março 1987.

MANTOVANI, E. C., SANS L. M. A., RESENDE, M. Relação entre o teor de umidade e compactação do solo para diferentes classes de latossolos. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, 1991, Londrina. Anais ... Londrina, PR : IAPAR e SBEA, 1991. 1681 p. p. 1384.

McKYES, E. Soil cutting and tillage. Netherlands : Elsevier Science Publishers B. V., 1985. 216 p. Developments in Agricultural Engineering, vol. 7.

McKYES, E. Agricultural engineering soil mechanics. Netherlands : Elsevier Science Publishers B. V., 1989. 292 p. Developments in Agricultural Engineering, vol. 10.

MOREIRA, R. F., DIAS, G. P., FONTES, L. H. P. Penetrômetro com transdutor tipo anel para medição de índice de cone. Viçosa, Minas Gerais : SBEA, 1995. 10 p., paper n. 95-4-365.

NOVAK, L. R., MANTOVANI, E. C., MARTYN, P. J., et al. Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um latossolo Vermelho-Escuro Álico, em dois níveis de umidade. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v. 27, n. 12, p. 1587-1595, Dezembro 1992.

OHMIYA, K., NOGUCHI, N., TERAOKA, H. Cone resistance measuring system for generating cone resistance distribution map. Journal of Terramechanics, London, v. 30, n. 3, p. 181-190, 1993.

- OHU, J. O., RAGHAVAN, G. S. V., McKYES, E. Cone index prediction of compacted soils. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v. 31, n. 2, p. 306-310, 1988.
- PERUMPRAL, J. V. Cone penetrometer applications - A review. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v. 30, n. 4, p. 939-944, 1987.
- PRATHER, O. C., HENDRICK, J. G., SCHAFER, R. L. An electronic hand-operated recording penetrometer. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v. 13, n. 1, p. 385-386, 390, 1970.
- QUN, Y., JIE, S., XIANBIN, D. Camera tracing and image processing system for soil deformation. Journal of Terramechanics, London, v. 29, n. 4/5, p. 423-431, 1992.
- RAGHAVAN, G. S. V.; McKYES, E., CHASSÉ, M. Effect of wheel slip on compaction. Journal of Agricultural Engineering Research, London, v.22, p. 79-83, 1977.
- RAGHAVAN, G. S. V., McKYES, E., BEAULIEU, B. Clay soil compaction due wheel slip. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v. 21, n. 4, p. 646-649, 653, 1978.
- RAGHAVAN, G. S. V., OHU, J. O. Prediction of static equivalent pressure of Proctor compaction blows. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v. 28, n. 5, p. 1398-1400, 1985.
- SCHAFER, R. L., BAILEY, A. C., JOHNSON, C. E., RAPER, R. L. A Rationale for Modeling Soil Compaction Behavior an Engineering Mechanics Approach. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v. 34, n. 4, p. 1609-1617, 1991.
- SMITH, L. A., DUMAS, W. T. A recording soil penetrometer. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v. 21, n. 1, p. 12-14, 19, 1978.
- SPEKTOR, M. Minimization of the energy consumption of soil deformation. Journal of Terramechanics, London, v. 17, n. 2, p. 63-77, 1980.

- SPEKTOR, M. Principles of soil-tool interaction. Journal of Terramechanics, London, v. 18, n. 1, p. 51-65, 1981.
- UHLAND, R. E. Physical properties of soil as modified by crops and management. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., Madison, W. I., v. 14, p. 361-366, 1949.
- VARGAS, MILTON. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo : McGRAW-HILL, 1977. 509 p.
- VENKATARAMA REDDY, B. V., JAGADISH, K.S. The static compaction of soils Géotechnique, London, v. 43, n. 2, p. 337-341, 1993.
- WAGNER, L. E., AMBE, N. M., DING, D. Estimating a Proctor density curve from intrinsic soil properties. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v. 37, n. 4, p. 1121-1125, 1994.
- WILLIFORD, J. R., WOOTEN, O. B., FULGHAM, F. E. Tractor mounted field penetrometer. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v. 15, n. 2, p. 226-227, 1972.
- YODER, E. J. Principles of pavement design. New York : John Wiley, 1959. 759 p.

9. ABSTRACT

This work had twenty soil treatments (four levels of soil water content and five levels of compaction energy) to study the relationship of soil penetration resistance, soil macro-porosity, soil micro-porosity, total soil porosity, and cone penetration velocity with the compaction of a Latossoil from the Mato Grosso State Cerrados.

This experiment was developed in lab conditions with soil compaction energy and soil water content controlled. The conditioned soil was compacted into metallic cylinders to complete the 20 treatments. After the samples were prepared, they were penetrated by a standard cone type "B" (ASAE R13.1) using seven different soil penetration velocities, with a hydraulic penetrometer, having precise penetration speed control and automatic data acquisition system. This penetrometer had apparatus to be used in lab and in field as well.

New relationships between soil cone index and soil density was found. Through statistically significant models one can predict the soil density using soil water content and soil cone index. The mathematical models to predict soil density found had determination coefficient (R^2) varying from 0,84 to 0,96. The models obtained using data from penetration speed of 5 and 100 mm/s presented higher bilateral significance using paired "t" test when the mathematical models were validated.